Public Works Canada
Travaux publics Canada

Architectural and Engineering Services
Services d'architecture et de génie

Building Performance Evaluation Series

Thermal Environment Evaluation

Document D03

Canada

89-01930/

Building Performance Evaluation Series

Thermal Environment Evaluation

Document D03

AES 1-4:86-23

March 1988

The Minister of Public Works makes no representation or warranty, express or implied, with respect to this publication or the programs or information described in this publication, their quality, merchantability, or fitness for any particular purpose, or their adequacy to produce any particular result. In no event shall the Minister or Her Majesty the Queen in right of Canada, Her employees, servants or agents be legally liable to any person or persons for any damage, whether direct, indirect or consequential, resulting from the use of said publication or the programs or the information contained therein.

Published by Architectural and Engineering Services
Public Works Canada

Public Works Canada / Travaux publics Canada

DOCUMENT DATA

1. Document Title THERMAL ENVIRONMENT EVALUATION	2. Control Number AES/SAG 1-4:86-23 3. Date March 1988
4. Author(s) B. Tilley	5. Consultant's Ref. No.
6. Project Manager	7. Discipline Series No. D03
8. Preparation Agency and Address Building Performance Division, Public Works Canada Room C-456, Sir Charles Tupper Building Riverside Drive, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Telephone: (613) 998-7830	9. Document Type Guideline 10. No. of Pages 41
11. Sponsoring Agency and Address D.C. and R.T. Appropriated Programs Accommodation Branch	12. PWC File No. A4270-16 13. PWC Project No. 602055
14. Supplementary Notes Questions and comments should be directed to the preparation agency, in 8 above.	15. SSC Publication No. 16. ISBN

17. Abstract

This document describes interior thermal environment analysis and the techniques involved at three applicable stages of evaluation. They range from the study of plans and archives to physical measurement with sophisticated instrumentation. Environmental factors that influence the thermal state of the building occupant are measured. The occupant's perception of the thermal environment may also be investigated.

One of the most important building functions is to isolate the occupants from adverse exterior thermal conditions and provide a productive and healthy interior environment. The thermal environment is determined by clothing level, activity level, air velocity, ambient air temperature, mean radiant temperature and moisture level.

18. Distribution Statement Copies are available from: Documentation Centre Architectural & Engineering Services Public Works Canada Sir Charles Tupper Bldg., Riverside Dr. Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Keywords 20. Documentation Centre Catalogue No. BP D03	21. Price

DPW 2398 (86/09)

TABLE OF CONTENTS

1.	**INTRODUCTION**	1
1.1	Purpose and Objectives	1
1.2	Background Information	1
2.	**TERMS OF REFERENCE**	4
2.1	General Framework	4
2.2	Limitations of Evaluation Techniques	6
3.	**METHODOLOGY**	8
3.1	Stage I – Preliminary Assessment (Introduction)	8
3.1.1	Description of Techniques	8
3.1.2	Equipment	8
3.1.3	Detailed Procedure	9
3.1.4	Assessment	12
3.1.5	Resource Allocation and Timing	13
3.1.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	14
3.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	14
3.2.1	Description of Techniques	14
3.2.2	Equipment	14
3.2.3	Detailed Procedure	15
3.2.4	Assessment	16
3.2.5	Resource Allocation and Timing	17
3.2.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	17
3.3	Stage III – Specialized In–Depth Monitoring	17
3.3.1	Description of Techniques	17
3.3.2	Equipment	17
3.3.3	Detailed Procedure	20
3.3.3.1	Preliminary Procedures	20
3.3.3.2	Detailed Measurement at Specific Times	22
3.3.3.3	Medium–Term Monitoring	25
3.3.4	Assessment	26
3.3.5	Resource Allocation and Timing	29
3.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	30
4.	**REFERENCES**	31

5.	**APPENDICES**	*33*
5.1	Standard Terms and Units of Measurement	*33*
5.2	Governing Authorities and Regulations	*37*
5.3	Building Performance Evaluation Document List	*41*

LIST OF FIGURES

2.1.1	Thermal Comfort Chart	*7*
3.3.1	Hygrothermograph Chart	*28*
3.3.2	Example of a Recording Made Using the Type 2306 Level Recorder	*29*
5.2.1	Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) as a Function of Predicted Mean Vote (PMV)	*38*

LIST OF TABLES

3.3.1	Thermal Comfort Data Sheet	*24*
5.2.1	Operative Temperatures for Thermal Acceptability of Sedentary or Slightly Active Persons ($\leq$1.2 mets) at 50% Relative Humidity	*40*

1. INTRODUCTION

1.1 PURPOSE AND OBJECTIVES

Thermal conditions are an influential component of the environment. One of the most important building functions is to isolate the occupants from adverse exterior thermal conditions and provide a productive and healthy interior environment.

The objectives of the procedure described in this document are:

1. to measure the physical indices of the thermal environment including those necessary to allow comparison to the ASHRAE and the ISO thermal comfort standards,

2. to measure the perceived extent of thermal comfort and discomfort through observation of occupant behaviour, analysis of questionnaire responses and occupant interviews, and record and archive analysis,

3. to assess a building's ability to provide productive thermal conditions including comparison to ASHRAE and ISO standard requirements,

4. to provide a sound basis for remedial action if action is necessary to improve the working environment.

The thermal comfort specialist is concerned with the optimization of the thermal environment within the building. This may not result in optimum energy effectiveness. In such cases, a compromise is reached wherein the factors are weighed and a compromise reached. The evaluative process must therefore draw upon expertise in energy use as well as other areas of concern at the stage where a solution or solutions are to be recommended.

Since analysis of thermal conditions are occasionally necessary in other methodologies, such as mechanical system evaluation, physical measurement and assessment of the thermal environment may be undertaken for other disciplines.

1.2 BACKGROUND INFORMATION

In any discussion of thermal comfort, thermal quality or thermal environment, the prominent characteristic that comes to mind is temperature. However it is the combination of temperature, air velocity and humidity which determines the thermal environment in which an occupant must work.

Temperature is normally taken to be that of the air surrounding the worker. In fact, there are two separate effects at play: the temperature of the surrounding air (ambient air temperature) and the radiant heat losses and gains resulting from the temperature of the enclosing surfaces. These heat losses and gains are expressed as the mean radiant temperature.

In large buildings, interior zones predominate. Within these zones the enclosing surface temperatures, and hence the mean radiant temperatures, are approximately equal to or greater than the ambient air temperature. Measurements taken during two studies (References 12,14) show that in interior zones mean radiant temperatures are usually higher than ambient air temperatures by up to 1°C. This phenomenon is probably due to the luminaires raising the measured globe temperature.

Within perimeter zones, mean radiant temperatures are affected by the surface temperatures of the exterior walls and glazing. Depending on the exterior weather conditions, the mean radiant temperature can rise above or fall below ambient air temperatures.

Historically, worker complaints have lead to the measurement of ambient air temperatures and relative humidity. For perimeter spaces, however, it is important to remember both the ambient air and mean radiant temperatures and assess the situation based on the combination of the two, that is, on the operative temperature.

Concern over air moisture levels has centered more on the deleterious effects on materials and enclosures than on the maintenance of comfortable internal environments. This is not to say, however, that the effects of humidity on the environment have not been researched or appropriate guidelines established (Reference 1). The majority of large air–conditioned buildings have been provided with some form of humidity control. In practice nowever, the operation of these systems is subject to what are considered to be overriding concerns ranging from mechanical system maintenance problems to structural damage caused by exfiltration. It has been determined in previous studies (References 11,13,14) that the air moisture level in occupied spaces is a major cause of complaint and is perceived by the occupants to be among the most significant environmental factors affecting their ability to work.

In this country, interior moisture levels in winter are reduced due to the heating of cold outside air which has a low moisture content. The addition of moisture through the use of a humidification system is normally required under these conditions. In summer, on the other hand, humid outside air causes high humidities in the building interior. The operation of the air–conditioning system normally lowers internal moisture levels, but further dehumidification may be required.

The following guidelines should be kept in mind when selecting measurement sites and periods.

Non–steady state and non–uniform conditions should be quantified and assessed. There should be comparison of areas perceived to have problems with non–problem areas, and areas with measured deficiencies with those that comply with requirements.

The ASHRAE standard specifies exterior conditions for compliance testing. The assumption seems to be that if a building can produce acceptable interior conditions during extreme exterior conditions, then satisfactory conditions will be maintained during less than extreme exterior conditions. This is not necessarily the case. The building and its systems have to react for a much longer period of time to exterior conditions that lie between the two extremes. A building may not be able to react

quickly enough to rapid (yet not extreme) exterior condition changes, or to adequately control spaces during periods of low to moderate heating or cooling loads. For example, oversized boilers producing high water temperatures might overheat a space or cause heating/cooling conflicts during minimal heat requirement periods. Testing during periods other than the extreme can therefore be useful and valid.

Long term monitoring over seasons is not practical, however it is within reason to attempt medium term monitoring, including monitoring in different seasons and over weeks and months to gain an appreciation of the relationships among such variables as supply air temperatures, space temperatures, and exterior temperatures. Factors to note are daily and weekly HVAC cycles, and daily and weekly occupancy cycles.

To collect information from building occupants, a series of questions relating to many of the individual parameters is asked. Recording of responses should be structured so as to be comparable with the results of physical measurements. The comparison proves useful in:

1. confirming the degree and extent of unfavourable conditions,
2. assisting in problem definition and remedial action generation,
3. pointing out flaws in either system of data gathering,
4. confirming or questioning the validity of standards, and
5. indicating areas of further research with respect to the sensible effects of the environment's characteristics.

2. TERMS OF REFERENCE

2.1 GENERAL FRAMEWORK

The thermoregulatory system in the human body attempts to maintain a constant core temperature by balancing heat gains and losses. For a given activity level in a given environment, an individual produces heat, thus causing a rise in internal body temperature. The body reacts by increasing the rate of heat transfer from the core to the exterior. As the exterior surface temperature rises, further reactions occur, including sweating, to increase the rate of heat transfer from the body to its surroundings. When the internal body temperature lowers, physiological reactions occur to counter this by reducing heat transfer to the exterior surface and its surroundings. The methods of heat transfer are:

1. heat loss by water vapour diffusion through the skin,
2. heat loss by evaporation of sweat,
3. latent heat loss by respiration,
4. heat loss by dry respiration,
5. conductive heat transfer to clothing,
6. heat transfer by radiation, and
7. heat loss by convection.

The rate of heat transfer and the direction of flow in the above processes are affected by environmental and activity parameters. These are:

1. internal heat production (metabolic rate) – usually directly related to activity level,
2. clothing levels (type of material, weight, weave),
3. surrounding air temperatures,
4. mean radiant temperature,
5. water vapour pressure in ambient air (relative humidity), and
6. air velocities – natural or forced.

Many of the rate determining parameters and heat transfer processes interact in groups. Thus, an extremely complex process determines an individual's thermal state.

Localized conditions, both in time and space, induce adjustments in the body's complex heat balance process. How quickly and effectively the body can deal with changing parameters and the effort required, will affect the individual's level of comfort.

There are three overall parameters that determine the degree of comfort or discomfort caused by the thermal environment:

1. the ability of the body to maintain a heat balance in which heat produced internally equals the heat loss from the body,
2. the degree to which the body sweats to regulate heat loss, and
3. the mean skin temperature.

The first condition must be fulfilled for comfort, but in itself does not guarantee comfort. For comfort, the sweat secretion and mean skin temperature must be within

certain limits. These limits vary with activity level and from person to person. They do not represent the absolute limits of the body's capability.

Thermal comfort has been an area of extensive research for many years. There is, as a result, a large body of knowledge extant (References 2,5,7,8). This has allowed the development of standards (References 1,4,6) and guidelines (References 9,10) designed to ensure safe and healthy conditions for all types of occupations, recreations and locations. A major target of this exhaustive work has been the environment of workers in office buildings.

In the 1960's and 1970's, Fanger (Reference 5) conducted experiments that elicited a subjective vote on a thermal sensation scale for a series of strictly controlled conditions. He was able to derive a thermal comfort equation – a method of calculating the mean vote, given a certain set of thermal conditions and an estimate of the deviation from the vote. As a result, we now can use the predicted mean vote (PMV) and the predicted percentage dissatisfied (PPD) to find out whether or not thermal conditions are acceptable, as defined by recognized standards, and to judge the effects of the combination of thermal environment factors present at a particular place and time. These factors are clothing level, activity level, air velocity, ambient air temperature, mean radiant temperature and moisture level.

An instrument called a thermal comfort meter has been developed which enables us to measure whether the combination of parameters being sensed is likely to cause discomfort to the workers and the extent of their feelings of warmth or cold. The integrating sensor of the thermal comfort meter enables it to output the PMV and PPD directly if the clothing, activity and moisture levels are dialed in. In other words, this instrument integrates the effects of the radiant heat gains or losses, the ambient air temperature and the air velocity in the ratios specified in the thermal comfort equation.

It must be stressed that while there is an assessment procedure based on specific tests and observation methods, it is also vital to have an on-going understanding of the building and its systems functioning from the outset of the study planning up to, and often beyond, the delivery of a final report. This mental exercise involves sorting, collating and transcribing the test results, findings and theories of the entire project team as well as gathering outside knowledge.

Thermal comfort investigations delve into the environmental characteristics that affect the three comfort parameters listed above. Specifically, they examine surrounding air temperature, radiant temperature and the velocity and moisture content of the surrounding air.

Local fluctuations in thermal conditions can also affect comfort as the body requires time to respond to changing conditions and has a limited ability to deal with occurrences such as drafts and direct sunlight.

At temperatures which do not cause an individual to sweat, air moisture vapour content is a contributing, but minor factor in thermal comfort. At temperatures which do cause sweating however, the sweat factor and the air moisture content become more important. An adapted psychrometric chart from ASHRAE Standard 55-1981 (see

Figure 2.1.1) indicates the relative importance of air moisture content in maintaining thermal comfort levels. From the chart it can be seen that a change in relative humidity from 20% to 68% alters the bounds of the thermal comfort zone by a maximum of only 1.6°C.

Moisture levels do have a significant impact, however, on environmental quality. Analysis (Reference 13) has confirmed that the effect of humidity levels is reflected in the occupants' rating of overall air quality and in the reporting of health-related complaints. In addition, moisture content affects the growth of mould and the occurrence of condensation, both of which affect comfort and material performance.

2.2 LIMITATIONS OF EVALUATION TECHNIQUES

The responses from focused interviews and questionnaires can relate to thermal comfort, air quality or air distribution conditions or combinations of them. The functional science team and the thermal comfort specialist must be able to separate the effects of the thermal conditions from the effects of other parameters.

To determine the cause, extent and degree of environmental problems, we must do more than quantify the environmental indices. The measured levels are the effect of the interaction of the HVAC system, the building structure and envelope, and the occupants' use of the interior space. The study of the distribution and mechanical systems and their control must be undertaken by mechanical systems specialists (reference 15).

The moisture content of unconditioned building air depends on the temperature and moisture content of the exterior air and the proportion of exterior air being drawn into the building. As a result, seasonal cycles have a profound effect on moisture levels. The time of year in which testing takes place, as well as the operating mode of the mechanical system must be considered in the interpretation of test results.

In characterizing the thermal environment of large buildings, it is not possible to carry out the data collection at all workstations. It is nevertheless important to test all workstations having discernible characteristics unique to a subset of the total.

The measurement of PMV is designed to identify whether a problem exists within the context of the overall sensation of thermal comfort. It does not pinpoint the cause of discomfort nor provide direct solutions. Local thermal discomfort due to radiant asymmetry, vertical temperature difference, drafts and warm or cold floors is not considered.

The length of time the building is studied as well as the number and selection of locations tested will determine the extent to which the findings can be used to describe the overall thermal performance of the building. The greatest limitation is in testing during specific periods and specific locations, then attempting to project the results to other periods and locations.

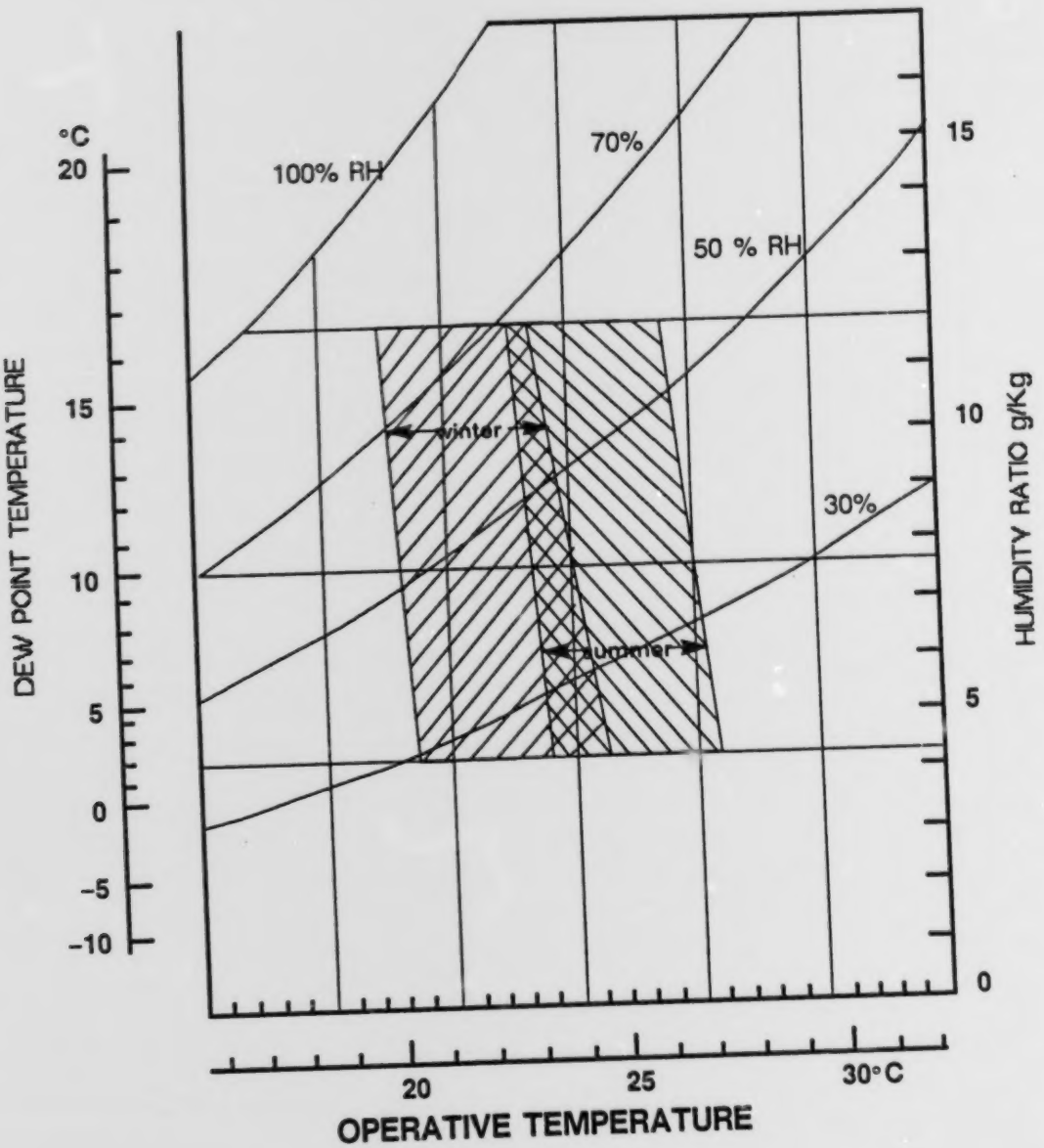

Figure 2.1.1: Thermal Comfort Chart

Acceptable ranges of operative temperatures and humidity for persons clothed in typical summer and winter clothing, at light, mainly sedentary activity (less than or equal to 1.2 mets).

3. METHODOLOGY

This methodology addresses all factors which form a part of the thermal environment. In cases where specific complaints indicate single characteristics require investigation, the methods should be customized to provide a more targeted approach. In many cases this reduces the resources required while providing the required analysis and solution generation. There will be cases where the limited approach will not provide enough information to properly define the problem and a further, more comprehensive procedure will be necessary.

3.1 Stage I – Preliminary Assessment

3.1.1 Description of Techniques

Stage I consists of any one or more of plan and archive analysis, expert walkthrough, and occupancy and use analysis. The investigation at this level will determine the cause of a specific problem or the results will be used to develop an approach for more detailed study as outlined in the descriptions of Stage II and Stage III in this document.

In plan and archive analysis, a general knowledge of the building size, shape and historic performance is gained through a review of building records and floor plans. The reviewer identifies heating and cooling systems, humidification and dehumidification systems including mechanical systems and window shading systems. He assesses their operating reliability and their effectiveness in maintaining required temperature and moisture levels by reviewing complaint records and reported health concerns.

The expert walkthrough provides a fast and inexpensive, yet sensitive and logical, appraisal of building performance. At the same time, it effectively targets more detailed investigative methods.

The walkthrough provides a general understanding of total building performance. The evaluator makes observations concerning the general state of the building as well as specific conditions related to the thermal environment.

In the walkthrough, direct assessment of temperatures and humidity is difficult. To aid in the process, the investigator will use a handheld humidity and temperature meter to measure conditions as he progresses through the walkthrough. There are observable factors which can provide insight into the acceptability of temperature and humidity levels. These include occupant clothing levels, the presence of auxiliary heating, cooling, humidification or dehumidification devices, dust levels and static electricity buildup while walking.

Occupancy and use analysis determines the occupant's perception of and satisfaction with the thermal environment. In addition, the ability of the building to support the functions of the organizations it houses is assessed by conducting focused interviews, questionnaire surveys, records analysis, plan annotation and by observation.

3.1.2 Equipment

A relative humidity and temperature meter is used during the walkthrough portion of a stage I assessment. The preferred instrument is a digital humidity and temperature

meter using a capacitive thin–film humidity sensor. The sensing range is 0 to 100% RH. Accuracy is ±2% RH from 0% to 80% RH at 20°C, ±3% RH above 80% RH, and + 0.3°C over the operating range with 63% response time of 10 seconds and an operating range of –20°C to +60°C. The HM–31 by Vaisala Inc. conforms to these requirements.

3.1.3 Detailed Procedure

Plan and archive analysis:

In plan and archive analysis, information dealing with the points following, is to be noted and recorded:

1. building size, shape, orientation and location,
2. division of building interior (e.g., small closed spaces, large open spaces, small floor areas),
3. type and size of mechanical systems (e.g., hot water heating, induction system, ducted returns), including humidification and dehumidification systems,
4. type, extent and degree of recorded complaints and problems with respect to air temperature, temperature fluctuations, drafts, moisture levels and health or discomfort concerns such as colds, sore throats, dry lips, and irritated eyes,
5. cyclical changes in occurrence or type of complaints,
6. degree of air–tightness of the building,
7. temporal or cyclic changes in building function, population and activity,
8. odours, both degree and type, and
9. unusual specific moisture sources such as interior fountains, processes that require constant open water supplies or, conversely, processes that require dry air or produce dust.

Walkthrough:

A walkthrough is normally conducted with the building manager, his operators and the client accommodation officer. These individuals are called upon to provide their views on building performance, occupant complaints and operating problems. They may be asked for more detailed background on specific items of concern.

Conditions influencing the thermal environment should be noted and recorded during a walkthrough. Following is a list of some of those conditions:

1. building size, shape, orientation and location,
2. division of building interior (e.g., small closed spaces, large open spaces, small floor areas),
3. type and size of mechanical systems (e.g., hot water heating, induction system, ducted returns), and humidification and dehumidification systems,
4. occupant clothing levels, including extra clothes such as sweaters and jackets hung over chairs,
5. population and equipment densities and variations throughout the building,
6. number and locations of auxiliary air–moving devices such as desk fans, stand–alone fans and desk–top electronic air cleaners,
7. air movement and temperature in openings (doorways, archways, entrances),

8. air freshness/staleness within occupied work spaces,
9. number of occupant–installed devices for monitoring air flow, such as strips of paper at air outlets,
10. system interventions such as taping air outlets or blocking radiator grilles,
11. general space and building housekeeping levels,
12. thermostat positions, settings and readings, if accessible,
13. activity levels and their variations throughout the building,
14. sensed temperature differences from one space to another, including perimeter and interior spaces (thermal sensation changes noted by the observer provide a general idea of temperature consistency throughout the building),
15. type, condition and use of internal shading devices,
16. obvious points of uncontrolled heat transfer such as doors stuck open, large cracks, broken or inoperative windows,
17. odours – both degree and if possible, source,
18. number of smokers and their locations,
19. specific observation of dust levels,
20. condition of indoor plants, especially indications of excessive moisture or dryness,
21. condensation on enclosure components,
22. mould growth and staining, particularly on enclosure components (as opposed to staining caused by roof leaks or rain penetration),
23. supply air temperatures, and
24. outside air damper setting.

These characteristics are recorded for all major building spaces under study. In addition, specific heat and moisture sources such as kitchens and indoor water fountains are noted and their schedules ascertained. Specific temperature and moisture requirements for computer rooms and laboratories are also recorded.

Temperatures and humidities are measured and recorded.

Occupancy and use analysis:

Occupancy and use analysis, comprising structured interviews and questionnaires, record analysis, plan annotation, and observation, is described in the five Class D documents of the Functional Science series. A study using these tools can be targeted to a specific problem or area or can be general in nature. As a result these tools can be used in different combinations or singly. The nature of the problem under study, financial constraints and time frames, will determine those to be used.

The questionnaire survey contains a series of questions related to the occupant's perception of the thermal environment. The occupants are asked to rate air freshness, air movement, drafts, temperature, air dryness and moistness, temperature variations, warmth and cold, to rate the significance of these factors, and to give their view of their control over these factors. In addition, problems with sore throats, eye irritations, (including eye strain, watery eyes and blurred vision), colds and flu, coughing, fatigue, skin irritations, allergies and sinus conditions are included in the canvassing procedure.

There are two scales commonly being used to measure thermal comfort. If possible within the constraints of the total study package, these scales should be used to allow direct comparison to previous research.

The thermal sensation scale has seven ratings:

cold	−3
cool	−2
slightly cool	−1
neutral	0
slightly warm	+1
warm	+2
hot	+3

The thermal comfort scale has four ratings:

comfortable	0
slightly uncomfortable	1
uncomfortable	2
very uncomfortable	3

The functional science group decides on the sample size and selection. However, the thermal comfort specialist should advise of special concerns he may have. The sampling should ensure that representative and numerically adequate samples are chosen to allow statistically significant responses and comparisons among building zones (perimeter, interior, open, closed), mechanical system zones, elevations, activity levels, function, and equipment and population densities.

The questionnaire is distributed to a representative and numerically adequate sample of the building's occupants. This ensures statistically significant responses which can be correlated and analyzed by the thermal comfort and functional science specialists to provide comparisons between building zones, mechanical system zones, elevations, activity levels, functions, and equipment and population densities.

In addition to the questionnaire, occupancy and use analysis includes a study of occupant behaviour. The study team assesses the occupants' reactions to their environment by noting the following indicators:

1. occupant clothing levels,
2. occupant use of fans and other air moving devices,
3. number of people who smoke and their locations, and
4. occupant attempts at environmental control or monitoring.

The functional science team may complete an observation checklist at each workstation sampled. Included in this checklist is a space to indicate occupant clothing level.

OBSERVATION CHECKLIST: CLOTHING LEVELS

Note:

If the occupant is not at the workstation, do not assume clothing levels. If articles of clothing, such as sweaters or jackets, are draped about, note them under "Remarks," but do not include them in your assessment. Include only what's worn at the time of observation.

LOW level = (usually in summer)

- light-weight dresses
- light-weight slacks
- short-sleeved shirts or blouses
- accessories (e.g. a thin jacket)

MEDIUM level = (spring and fall)

- medium-weight slacks or skirt
- long-sleeved shirt or blouse
- light-weight sweater or vest

HIGH level = (winter)

- heavy slacks or skirt
- long-sleeved shirt or blouse
- warm sweater or jacket
- accessories (e.g. stockings, shoes)

Focused interviews may be conducted. Building operators and organization management are questioned about the workers' and their own views of temperatures, temperature cycles and fluctuations, moisture levels, air freshness, odours and mechanical system characteristics likely to affect temperature and humidity.

For more information about the study tools used in occupancy and use analysis see the five Class D documents:

1. Focused Interviews
2. Questionnaires
3. Observation
4. Record and Archive Analysis
5. Plan Annotation

3.1.4 Assessment

While each section of a Stage I assessment can be conducted individually, quite often the study will incorporate portions or all of several sections. For example there is usually some form of plan and archive review prior to a walkthrough. In all cases, upon completion of the initial study a decision must be made and reported with respect to further study. The choice can be either no further study, another step in a Stage I

study, a Stage II study or a Stage III study. If no further study is required then the report will have pinpointed the cause of the problems identified and provided specific solution options. In some cases the process of providing these options will require more study at any of the three study stages. Final solution generation at this stage, as well as in Stage II and Stage III studies, is to be completed within the transdisciplinary context preferably in conjunction with a study team comprised of individuals knowledgeable in several different building science fields.

The reviewer examines the plans and archives to identify and define any thermal environment problems. The next step is to identify the cause. An attempt must be made to determine the options for problem solution.

At the end of the walkthrough the observations are summarized both for individual spaces and for the overall building. The data is then compared with available archived material and the information provided by the building operators. Measured levels are compared to standards and operating norms. During the walkthrough, as problems are identified, causes should be investigated and solutions sought. It is important to carry out this process during the on–site study.

When the walkthrough indicates that the thermal environment is poor, either in the absolute sense or in terms of consistency, a subjective ranking of the building compared with similar buildings is made and the need for more detailed study assessed. This assessment is based on the results of problem identification and definition, and solution generation during the walkthrough and subsequent information analysis.

The occupancy and use analysis provides the environmental science group with questionnaire response percentages by workgroup and workzone, lists in order of priority the environmental concerns of both the occupants and the management, and compares the building under study to similar buildings studied previously. The responses should be broken down to point out statistically significant ratings of indoor climate characteristics by workgroup, by mechanical zone, and by workstation location and elevation. Results are compared with those of the plan and archive analysis and the walkthrough.

The functional science group evaluates the findings and assesses the results of their survey. The thermal comfort specialist then further interprets the findings for application to his specific field. A picture of the building's general performance level and of specific aspects of performance should evolve.

A list should be made of environmental concerns by priority from both the occupants' and the management's points of view, and a comparison made of the building under study with similar previously studied buildings.

3.1.5 Resource Allocation and Timing

Once all available documentation has been gathered at a central location for the plan and archive analysis, the review can usually be completed in a single working day.

A two–person team is usually able to conduct a walkthrough of all but very large buildings (over 25,000 m^2), in a single day and write the report in an additional day.

Interviews, callbacks and more in–depth research of existing materials is usually limited to one day.

The plan and archive analysis, walkthrough and a written report can usually be completed in four days by a two–person team.

The time required to undertake a Stage I occupancy and use analysis is project specific, depending on the scope of work and the size of the building. The input of the thermal comfort specialist to planning, plan and archive analysis, intermediate consultation and analysis as well as final report writing is usually limited to four working days.

3.1.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Checklists used in the plan and archive review are retained in the study files. All notes and reports are to be retained.

Observation checklists and notes made during the walkthrough are retained.

The original questionnaire responses for individual workstations are retained by the functional science group. Documentation requirements are included in the functional science group's evaluation technique descriptions.

3.2 STAGE II – SIMPLE MEASUREMENT TECHNIQUES

3.2.1 Description of Techniques

Stage II investigations are aimed at defining and solving thermal comfort problems without the need of outside consultants or headquarters staff. Stage II is required when the initial assessment does not pinpoint the problem and arrive at a solution.

The Stage II thermal environment evaluation technique is intended to quickly and accurately measure the combination of parameters most crucial to maintaining an acceptable thermal environment. Portable instruments are used over a short period of time in chosen locations to measure one or more of the following variables:

1. air temperature (t_a)
2. relative humidity (RH)
3. air speed (v)
4. operative temperature (t_o)
5. predicted mean vote (PMV)

Stage II provides more measurement of existing conditions without going into detail or long–term monitoring. The instrumentation will confirm with physical tests that there is a problem and, in many cases, point to the cause of deficient thermal environments.

Stage II investigations can be conducted by regional office personnel after training in the use of the equipment and in the analysis procedure.

3.2.2 Equipment

The following equipment is required for a Stage II assessment:

1. Handheld humidity, temperature and air speed meter
   The Model MPM 500 digital humidity, temperature and air speed meter manufactured by Solomat Inc is suitable in this application. The meter covers the sensing range of 0% to 80% with ±2% RH accuracy at 20°C and ±3% over 80% RH. The operating range is −20°C to +60°C. The temperature sensor accuracy is ±0.3°C over the operating range. The system 63% response time is 10 seconds.

2. Smoke pencil or air current tester to show the direction of air flow
   Drager air current tube kit, Model No. CH 216. The kit includes ten air current tubes (CH 25301), one rubber bulb, four rubber caps and operating instructions.

3. Thermal comfort meter, complete with tripod, to measure operative temperature and Predicted Mean Vote (PMV)
   The Bruel and Kjaer Model 1212 portable thermal comfort meter is equipped with a detachable integrating sensor and removable battery packs. The instrument displays PMV and operative temperature. Clothing, activity and moisture levels are dialed in.

4. Building floor plans used to record the factors measured and where they were measured
   The plans should be reproduced in reduced sections, in convenient letter–size sheets that show major physical boundaries with a grid system (preferably the standardized column numbering system for the building).

3.2.3 Detailed Procedure

The Stage II analysis procedure is conducted during working hours with normal occupancies and with the HVAC system in a standard operational mode. The building manager or operator is asked to confirm these conditions.

Although occupancies and heating and cooling loads for a particular building vary over the course of a year, the test is undertaken at a time when conditions are considered normal. Testing during an unusually warm period in mid–winter, for example, may not represent the building's normal operation or performance. If Stage I results indicate that problems exist during different seasons, the procedure is repeated at different times of the year if the problem is not solved in the interim.

The test technician first studies the drawings and complaint records to derive a list of test sites. Normal targets for investigation include areas of high complaint, and areas with significant heat or moisture sources such as photocopier rooms and kitchens. Areas of low complaint are included as a control. The test sites include locations in different mechanical zones, floors and building elevations. Distinct physical spaces and any specific sites identified in Stage I studies are tested. Perimeter and interior spaces, open spaces, enclosed rooms, sparsely populated and densely populated areas can be included to allow for comparisons. The building operations staff should be consulted closely in this selection process. After determining areas to be investigated, the workers in those areas should be consulted for their opinions.

The building floor plans are used to record the time, location and the measured values obtained. The plans are annotated with additional information such as the exterior wind velocity, the exterior temperature, the operating condition of the mechanical systems, heat and moisture sources, evidence of excessive moisture, heat and cold, and obvious air leakage points.

Information on the operating condition of the mechanical systems, including the on/off status of the supply, exhaust and return air fans, is obtained from the building operators. Weather data can be obtained by telephone from the nearest Atmospheric Environment Service office. Exterior temperatures and wind speed and direction are required.

The thermo–hygro–anemometer is used to measure air temperature, air speed and humidity. The thermal comfort meter is used to measure the operative temperature and the PMV. For full operating instructions of the thermal comfort meter, refer to the manufacturer's instruction manual (Reference 3). The smoke pencils are used to define the direction of air movement required for both analysis and an accurate reading of air speed with the thermo–hygro–anemometer.

The test technician takes measurements in each workstation and records the values measured and the time of measurement on the building floor plans.

Since water vapour diffuses evenly through the air, moisture levels are measured at only one location within each zone as long as the space is relatively open. Even in closed rooms, the air vapour content will be the same as in the surrounding spaces unless there are specific moisture sources or absorbers and the spaces are sealed to a degree (i.e. the partitions extend slab to slab and the doors are shut).

The longer the measurement period, the better the ability to trace any cyclical patterns. In a Stage II study, however, time and money constraints normally limit the technician's efforts to a single working day.

3.2.4 Assessment

Some assessment is inherent in the sampling process. Potential problem areas are selected, while other areas are designated as unlikely to be experiencing discomfort.

Following measurement, the technician analyses the results by comparing them with comfort conditions as defined by the ASHRAE and ISO Standards. Any temperature patterns or discernible patterns in PMV and moisture distribution related to location, building use, building systems or exterior conditions are identified. Explanations for the patterns and values measured are put forward. The individual analyzing the plans then provides a clear, concise summary of results and influencing factors. It is intended that the initial calculations and comparisons be conducted along with the field measurements, and the results recorded on the building floor plan work sheets. The study report must detail the thermal environment problems identified during the course of the study. This report must include the results of comparison to the ISO and ASHRAE standards. The report should include a series of options for problem resolution, to be used by a transdisciplinary team in arriving at a final solution based on total building performance. One of the options which may be listed is a recommendation to conduct a Stage III study.

3.2.5 Resource Allocation and Timing

This Stage II test in a building of 5,000 m^2 with a single set of readings at a maximum of fifteen sample points should be undertaken by a single person and completed in a single working day. Planning and preparation should take one day. The resulting floor plan and written report should take another one and one–half days for a total of three and one–half person days.

3.2.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

The annotated floor plans and summary should be retained in the project files as should an overall report written after completion of the data collection and individual location comparison exercise.

3.3 STAGE III – SPECIALIZED IN–DEPTH MONITORING

3.3.1 Description of Techniques

The Stage III study of the interior thermal environment of a building:

1. investigates problems not resolved through Stage I and II methods, using more in–depth and longer term methods,
2. compares existing conditions with the standards specified in ASHRAE 55–1981 and ISO 7730,
3. analyses the measurements to determine the extent and cause of thermal discomfort,
4. compares the physical measurements to occupant responses and attempts to explain discrepancies,
5. itemizes options to improve the interior thermal environment.

The results of earlier investigations at Stage I and Stage II are studied prior to the commencement of work in this stage.

There are two types of data collection involved in the Stage III evaluation, not including data collected by others but used in this evaluation. The first is the detailed measurement and recording of the actual thermal conditions existing at selected workstations. It makes use of thermal comfort stands, a multi–channel digital thermometer and handheld instruments to measure all the parameters influencing thermal comfort. This is done in many locations but at only one or two points in time. As well, recording hygrothermographs record the temperature and humidity over a 24–hour period. The second type is the monitoring over a longer time period of a selected number of parameters. It makes use of an electronic data acquisition system or graphic level recorder to measure parameters over a period of one to four weeks at a limited number of selected locations. The two procedures are detailed in section 3.3.3.

Either approach can be used to arrive at valid conclusions. In some cases, a combination of both will be beneficial. The technologist has to weigh the intent and target of the study against the time, equipment and costs of each approach. In some

cases monitoring over longer periods may be more important than covering a large number of workstations or vice versa. Earlier reports and information from the building operators are used in determining the approach to take.

3.3.2 Equipment

	INSTRUMENT	PURPOSE
1.	handheld digital thermometer with air temperature and surface temperature sensors	to measure the temperature of ambient air, supply air and surrounding surfaces
2.	globe thermometer	to measure globe temperature and allow calculation of mean radiant temperature
3.	recording hygrothermograph, complete with charts and pens	to measure and record relative humidity, air temperature and the rate of change of both
4.	handheld humidity meter	to measure relative humidity
5.	multi-channel digital thermometer	to measure air temperature at several levels concurrently
6.	thermo-anemometer	to measure air speed
7.	flowhood/air balance meter	to measure the rate of air supply through the HVAC system outlets
8.	air current tester (smoke pencil)	to determine air motion direction
9.	microcomputer-driven data acquisition and storage system	to measure and record temperature, humidity and other relevant conditions
10.	thermocouple stands with thermocouples attached	to sense workstation air temperature at several levels concurrently
11.	pressure gauge with thermostat adapter	to check and record stat supply and output pressure
12.	relative humidity sensors and meters	for use with the data acquisition systems
13.	thermocouples	for use with the data acquisition systems
14.	building floor plans	used to note instrument and reading locations and other pertinent data
15.	thermal comfort meter	to measure PMV and PPD
16.	graphic level recorder	to record output of thermal comfort meter
17.	thermostat keys	to remove thermostat covers

The quantity of each instrument required depends on the number of technicians available, the time available and the extent of the survey. In addition, many small tools and supplies are required to maintain, adjust and install the actual test instruments.

Item 1: Newport Laboratory Model 264–2 digital platinum rod thermometer with interchangeable air temperature probe and surface temperature probe. The range is –200°C to +200°C. The rated accuracy is ±0.3°C with 0.1°C resolution.

Item 2: C.F. Casella and Co. supply a 150 mm diameter black globe thermometer. It is normally fitted with a mercury–in–glass thermometer, but these are removed and thermocouples are substituted so that the sensing tip is at the centre of the globe. The outlet is sealed to prevent the escape of warm air.

Item 3: Enercorp Instruments Limited Model 620 with 7–day cycle, felt tip pens and plastic humidity elements, is an acceptable instrument. Stated accuracy is ±1% of full scale for temperature and ±3% for humidity.

Item 4: The preferred instrument is a digital humidity and temperature meter using a capacitive thin–film humidity sensor. The sensing range is 0 to 100% RH. Accuracy is ±2% RH from 0% to 80% RH at 20°C, ±3% RH above 80% RH, and ±0.3°C over the operating range with 63% response time of 10 seconds and an operating range of –20°C to +60°C. The HM–31 by Vaisala Inc. conforms to these requirements.

Item 5: A Fluke 2100A thermometer or equivalent with response time of less than 0.1 seconds is recommended. The maximum error is 0.6°C. The thermometer is wired with 6 thermocouple wire pairs to a specialty jack plug. Numbering and wiring is such that channel numbers on the thermometer correspond to the labels on the thermocouple stands (see Item 10). A battery pack is available for use with the thermometer.

Item 6: The handheld anemometer must be accurate at normal room air movement speeds of 0.05 m/s to 0.50 m/s. Accurate measurement below 0.05 m/s is not easily available and is of limited value where air speeds are so easily affected by minor influences such as the test technician's presence. Building Performance uses a Kurz Model 1440–M anemometer.

Item 7: The Shortridge Instruments air flow meter or equivalent with low flow baffles and a low range scale of 12–140 l/s is recommended. Accuracy is ±3% of full scale.

Item 8: Building Performance uses Drager or Gastec air current tubes. Copies of the manufacturer's disposal instructions are available. These tubes should be neutralized before disposal.

Item 9: The Campbell Scientific CR–7 measurement and control system is used. It is a battery–operated modular programmable system that allows sampling and recording of data from most types of sensors. A cassette recorder is used for data storage.

Item 10: Each folding stand has 4 thermocouples placed horizontally 75 mm from the stand at heights of 1700 mm, 1100 mm, 600 mm, and 100 mm, and labeled number 1 to 4. A globe thermometer is attached to each stand and fitted with thermocouple number 5. Each stand base has a thermocouple, number 6, placed under it so that the thermocouple is compressed against the floor. Each stand is numbered. Each of the 6 thermocouples is wired to a 6–channel specialty jack panel mounted on the stand base.

Item 12: The humidity sensor used is the Campbell Scientific Corporation Model 201, which incorporates a moisture sensor and a thermistor to provide temperature compensation. Accuracy, when combined with a CR-7 data logger, between 10% and 100% relative humidity is ±4% RH.

A Hy-Cal Engineering Model SA-760-A humidity meter with Model HS-3552-B humidity sensor is used. This is a self-contained amplifier system with digital display, standard analog output and BCD output option. Sensor accuracy is ±2% over the 15% to 40% relative humidity range and ±6% outside that range.

Item 13: Type T thermocouples are used.

Item 14: Building Floor Plans. The plans should be reduced to sections, in convenient letter-size sheets that show major physical boundaries with a grid system (preferably the standardized column numbering system for the building).

Item 15: The Bruel and Kjaer Model 1212 thermal comfort meter is "a portable instrument for measuring the effect of the thermal environment on human comfort by simulating the thermal balance of the human body" (Reference 3). It has a detachable sensor and removable battery packs. The instrument displays and outputs PMV, PPD and operative temperature. Clothing, activity and moisture levels are set using dials on the front of the instrument.

Item 16: The Bruel and Kjaer Portable Graphic Level Recorder Type 2306 is compatible with the thermal comfort meter and provides a single channel chart on graduated paper from which PMV can be read directly.

3.3.3 Detailed Procedure

A Stage III study is normally undertaken as a result of findings generated in Stage I and II studies. Problem areas previously identified are reassessed in an in-depth analysis.

The in-depth measurement is conducted with normal occupancies and with the HVAC system in a standard operational mode. Although occupancies and heating and cooling loads for a particular building vary over the course of a year, the test is undertaken when conditions are considered to be normal for the time of year.

The procedure outlined in the text that follows attempts to cover all factors directly affecting thermal comfort. The procedure should be changed to suit the individual test requirement. If, for example previous studies have conclusively defined the problem as one of moisture level control, then the in-depth testing described here should be adapted to concentrate on moisture levels and conditions affecting moisture levels.

3.3.3.1 Preliminary Procedures

The floor plans of the building under study, with work groups, use and equipment noted on them, are studied to determine a valid sampling strategy. Selection criteria include:

1. proximity to the exterior enclosure, including corners and exterior wall junctions,
2. orientation with respect to the building's major elevations,
3. proximity of heat-producing equipment (thermal load concentrations),

4. activity level differences,
5. surrounding surface temperature changes affecting thermal radiation,
6. mechanical system zone,
7. office type (open or closed, screened or partitioned),
8. height of workstation, that is, building floor number,
9. building overhangs, and
10. attention to complaints identified in a Stage I study.

A selection based on all the different combinations of these 10 characteristics would, of course, be out of the question. The sampling list must be reduced to a manageable number. The selection should include at least one sample of each different set of workstation characteristics that might affect the internal thermal environment and, therefore, the occupants' comfort. The selection process must drop out repetitions of sets of characteristics first, then areas considered to be of minor importance because of limited occupancy, and thirdly, areas in which the differentiating parameters are either thought to have a limited effect on comfort, or are thought to produce the same effect as another set of characteristics. One further point to keep in mind during the selection process is the number of workers occupying spaces with like characteristics. For example, a workstation type that houses 80% of the building population would require more attention than a type used by only 1% of the workers, at least until the actual conditions are determined, as a better cost–to–benefit ratio is attained by targeting more widespread conditions for initial study.

In addition to the sites selected based on the above criteria, a further set of sites may be selected. These are special areas that may or may not contain workstations but in which employees do work or relax. The number chosen depends upon the total number of areas it is felt can be surveyed, given the time and cost restraints of the particular study, minus the number chosen as representatives of groups of workstations.

Upon arrival at the building, the technician tours it and identifies the proposed test locations. The list is finalized and identification numbers assigned. The digits of the identification number indicate the floor number, the area on the floor, and the desk within that area.

Design temperatures for the building location must be known in order to calculate the test condition prescribed by ASHRAE. It is one half the difference between interior conditions and the 2.5% design temperature. As an example, for Winnipeg in the heating season, the 2.5% January design temperature is −31°C. If the interior temperature is 23°C the test condition prescribed is a maximum exterior temperature of −4.0°C under cloudy to partly cloudy skies. If required exterior conditions are not met, the test can proceed, however compliance with the standard cannot be part of the conclusions. Conditions can still be compared to those listed as necessary for comfort, and recommendations can be made.

Weather data must be collected for the duration of the test. Of particular importance are exterior temperature, relative humidity and sky conditions. Wind speed and direction should also be recorded (Reference 16).

3.3.3.2 Detailed Measurement at Specific Times

Set up the thermocouple stands in the initial test locations. Place each stand as close as possible to the position occupied by the worker without hindering his movement or subjecting the equipment to damage.

Adjust globe thermometers on each stand to the correct height (600 mm if the workstation is of a sedentary nature, 1100 mm if it is not). Distribute recording hygrothermographs to the centre of the thermostat zones in which the thermocouple stands are located. Note the positions of the stands and the hygrothermographs on the floor plans. Each hygrothermograph must be checked for correct operation each day of the survey period.

Two technicians proceed to the first workstation, and fill out the general section of the data sheet shown in Table 3.3.1. This includes date, work station identification number, floor, location, start time and technicians' initials. They also record the type of workstation and the clothing and activity levels, if possible.

The monitoring equipment is moved from station to station on a wheeled cart. The Fluke thermometer is used to collect one set of thermocouple readings which are recorded on the data sheet.

The height of the globe thermometer is circled on the data sheet. The globe thermometers should be allowed to stabilize in new locations for at least twenty minutes before any readings are taken.

Using a smoke pencil concurrently with a low velocity anemometer, record the direction of flow and the air speed for each of the four above–floor thermocouple heights. The horizontal direction is designated by noting compass points. The vertical direction is designated by the angle of flow in degrees (positive above the horizontal and negative below the horizontal). If the flow direction is variable, note this with a circle. The air speed is measured using the digital anemometer.

Measure the ceiling temperature with the surface temperature sensor. If there are different types or heights of ceilings over the workstation, measure the temperature of each.

Read relative humidity from the recording hygrothermograph in the same thermostat zone. Use the portable relative humidity meter to confirm the reading.

Locate thermostats controlling the test area and sketch their positions. Record the set points and the thermostat temperature indicator readings.

Using a thermo–anemometer or an air balance meter, measure the air flow of the nearest diffuser(s) in order to characterize the operational mode of the HVAC system. Use of the thermo–anemometer requires care, as the readings are affected by the angle between the direction of maximum flow and the anemometer probe. The angle should be varied until maximum values are obtained. Consistent use of the same positions on each diffuser is required to make valid use of manufacturers' calibration data. If flows

change during measurement, this should be noted, and if time allows a second set of readings should be obtained under the new conditions. The air balance meter or flow hood is the easiest equipment to use and will give a direct flow reading if an adequate seal can be achieved between the top of the hood and the diffuser surround (in the case of ceiling diffusers). If the system is a VAV system, the thermostat is reset to provide maximum supply air and the measurement of flow is repeated and results recorded. The thermostat is reset to its original setting.

If the diffusers are supplying air to the work station, measure the temperature of this air by placing the air thermometer probe in the diffuser opening and allowing it to stabilize. Take care that the probe tip is not in contact with any surface and is in the path of the supply air.

Take radiant temperature asymmetry measurements at each workstation where it is suspected this condition is affecting the occupant. This is normally a factor only at workstations adjacent to the building perimeter with a very large proportion (greater than 75%) of glass in the exterior wall. Make a sketch indicating the orientation of the station and its occupant with respect to surrounding elements and showing distances to each surface. Then use the surface temperature probe to determine the temperatures of the elements. Record these readings and note conditions at the time, that is whether an area is in direct or reflected sunlight, whether curtains, drapes or blinds are present and whether they are being used.

Note all special conditions at the workstation or in the same thermostat zone, including diffusers that are blocked or taped over, thermostats located outside the area they control, and meeting and waiting areas. Note any occupant–supplied heaters, fans, humidifiers, weather stripping, etc., and their operating condition at the time of the survey. As well, note comments of the occupants, including occupants of neighboring workstations.

Next record a second set of thermocouple readings. Move on to the next workstation after recording the finish time.

If possible, sample each workstation twice, once in the morning and once in the afternoon.

Following is the thermal comfort data sheet used in this test.

THERMAL COMFORT DATA SHEET

Building: _____ Date: __-__-__
Start Time: __:__ Finish Time: __:__ Technicians: _____

Station: _____ Floor: _____ Location: _____
perimeter _____ interior _____ mechanical system zone _____
Activity type: unknown _____ sedentary _____ non-sedentary _____ mixed _____
Clothing level: unknown _____ low _____ medium _____ high _____

Thermocouple/air direction readings:

channel	level	dry bulb temperature		direction of air flow
1	1700 mm	____ ℃	____ ℃	horiz. ____ vert. ____
2	1600 mm	____ ℃	____ ℃	horiz. ____ vert. ____
3	600 mm	____ ℃	____ ℃	horiz. ____ vert. ____
4	100 mm	____ ℃	____ ℃	horiz. ____ vert. ____
5		Globe: ____ ℃	____ ℃	
6		Floor: ____ ℃	____ ℃	

Air speed

100 mm;	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s
600 mm;	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s
1100 mm;	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s
1700 mm;	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s

Globe Height (600 mm ____ 1100 mm ____) Stand number: _____
Ceiling temperature: ____ ℃ Light lens temperature: ____ ℃

Zone humidity: from hygrothermograph ____ % from humidity probe ____ %

Diffuser flow or pressure (units ____): 1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____
Diffuser air temperature (℃): 1. _____ 2. _____
Thermostat set point: ____ ℃ Thermostat reading: ____ ℃

Radiant asymmetry measurements (Sketch and designate points on reverse):

Window temperatures:	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃
Exterior wall temp:	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃
Interior wall temp:	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃
Other temperatures:	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃	Pt. __,____℃

Radiant heat sources or sinks: Give location, dimensions, composition, surface temperature and orientation. (Sketch on reverse.)

Special conditions and comments (Continue on reverse if necessary. Include additional diffuser pressure readings here.):

Each station to be identified on an accompanying floor plan. Air flow direction to be indicated on plan. Locations of nearest diffusers, of controlling thermostat and of radiant heat sources to be shown.

Figure 3.3.1: Thermal Comfort Data Sheet

3.3.3.3 Medium–Term Monitoring

The choice to use either the graphic level recorder or the data acquisition system depends on availability of equipment, number of locations to be tested, duration of test(s) and concurrent testing.

If a single location is to be monitored for a day or two, the recorder is recommended unless the data acquisition system is already being used for another test, is easily accessible from the thermal environment test site, and can accommodate the extra inputs.

If the test is to be conducted over periods greater than 1 week, the data acquisition system should be used.

When using the data acquisition system, place the Type T thermocouples about the workstation and wire them back to the data acquisition system. Place the thermocouples to collect space temperatures, supply air temperatures, wall temperatures, glazing temperatures, slab temperatures and return air temperatures, and to sense whether the heating system is in operation. Wire back the humidity sensors and meters to allow the data acquisition system to record their outputs.

The Campbell Scientific CR–7 has an installed capacity of 56 double–ended measurements. It can be programmed to collect data from several different types of sensors, with scan rates selectable for each sensor. Data is normally recorded on an audio cassette in a compatible cassette recorder using an interface cable.

Programming of the CR–7 is relatively simple and employs an instrument prompt sheet. As the sensor configuration will change with each study, a single program list is inappropriate. Variations at each installation must be accounted for. Scan rates for temperature sensing should be between five and fifteen minutes although the monitoring period and the scan rate is set to suit the specific needs of each test.

When using the graphic level recorder connected to the thermal comfort meter, set up the meter, tripod and recorder according to the manufacturer's instructions. The recorder will record PMV. (If the thermal comfort meter is connected to the data acquisition unit PMV will be recorded, with the option to record comfort temperature and the displayed parameter.)

Take humidity readings using the handheld humidity meter, and observe clothing and activity levels. Dial the appropriate values for each into the meter, using the supplied guide sheet. The systems are turned on and a graphic record or – after programming the CR–7, a magnetic data tape record – is produced.

Check the instruments and setting daily. If necessary, adjust the thermal comfort meter setting for clothing, activity and humidity and note the adjustment. If the graphic level recorder is used, note the meter settings, date, time and location on the paper tape. If the data acquisition system is used, record this same information on a data sheet.

Record all exterior and operating conditions, dates and times of testing, and equipment placement locations on the building floor plans.

3.3.4 Assessment

The thermal comfort data sheet is designed to allow comparison to the ASHRAE standard. A computer program, TCIN2, allows the data to be input to storage devices on the HP-85 microcomputer. Another program, TCASH2, manipulates the data for each test site and compares each set to the ASHRAE standard's limits. It provides a listing of those sites outside the bounds, and of the factors putting them outside. Radiant asymmetry must be calculated separately using the manual procedure detailed in ASHRAE 55-1981. This calculation need only be considered if horizontal surfaces differ by more than 5°C or vertical surfaces differ by 10°C or more.

Each chart from the recording hygrothermographs is visually scanned (see Figure 3.3.1). For each location, the maximum and minimum humidities and temperatures can be tabulated. Estimates of the average relative humidity and average temperature are also recorded. In scanning the charts, moisture level and temperature cycles are identified and recorded.

The charts from the graphic level recorder (Figure 3.3.2) must be visually scanned. Maximum and minimum PMV from each chart for each day must be recorded. The results for each chart and for each location are summarized in tabular form and the overall maximum and minimum for each location included in the table. Estimates of average PMV should be recorded. In scanning the charts, PMV cycles should be identified and recorded. This analysis and that described below need only cover occupied hours and the one-hour period prior to occupancy.

Data collected on cassette from the data acquisition system is transferred to the directorate's computer. A program called C20 provides maximum, minimum and average values for requested times and sensors, and compares the data from sensor to sensor.

The actual evaluation and assessment consists of many comparisons and attempts to validate perceived performance patterns. The data is examined to see if problems (that is, conditions outside of the bounds of the standards) are consistent with physical separations.

Daily average exterior weather conditions for the test period should be reported, especially air temperature, wind speed and relative humidity. The results of investigations into the local HVAC systems and controls are incorporated here along with air circulation and distribution, mechanical system, and air quality test results. Functional science evaluation where it has taken place, should be incorporated into all aspects of the assessment.

The assessment and resulting report should include separate sections for:

1. Activity level. Observed levels are reported, compared to norms, and the implications of variations from the norm discussed.

2. Clothing levels. Observed levels are summarized, reported and compared to those considered typical; variations are noted, including sex distinctions, and the implications discussed.

3. Air temperature. Minimums, maximums and averages should be calculated and compared for test period, daily occupied hours, floor–by–floor, perimeter and non–perimeter, north and south, and morning and afternoon temperatures. Any results of building air temperature sensor studies should be discussed here. If separate field trips were undertaken, results must be compared and discussed.

   Air temperatures from areas with high populations or equipment densities should be compared with those from areas of low population or equipment densities. Specific areas of concern should be separated and the data from those areas compared to the overall building levels. Discussion of the comparisons and their implications, including the control and mechanical system implications must be included.

   If available, hygrothermograph charts and electronic data files must be examined for evidence and explanation of excessive cycling. Vertical air temperature differences must be reported and discussed here in the same breakdowns as mentioned above for air temperature.

4. Radiant temperature. This section must include two discussions. The first addresses the results of mean radiant temperature measurements, including averages and comparisons to air temperatures, the cause of excessive variations and the implications of the phenomena documented. The second covers the radiant asymmetry aspect of the standard, wherein radiant heat losses and gains on opposite sides of the body are measured. Again causes for outside–of–bounds performance must be put forward.

5. Air velocity. Averages should be reported and discussed. Values in excess of those recommended should be examined to determine whether there is a pattern in location, orientation, height, mechanical zone or elevation. Results of other testing – particularly that of air circulation and distribution and the mechanical systems – must be fully utilized.

6. Humidity. Average humidities should be shown and variations from the norm noted. Comparison to the standard must be made. Again the results of other tests must be presented and discussed here. If possible, seasonal changes and, if appropriate, building population shift implications, should be provided.

7. Operative temperature. The same types of comparisons as those listed for air temperature are valid for operative temperature. The results should be viewed in an attempt to draw out patterns and relationships. Comparisons to the standards limits – including cycling, drifting and ramping – should be a major portion of this section.

8. Floor temperatures. These should be reported and compared in the same manner as air temperature. Comparisons to ASHRAE 55–1981 must be made.

9. PMV. Averages, minimums and maximums should be compared to the ISO standard. Cycles should be noted, as should variations coincident with building, zone or operational boundaries.

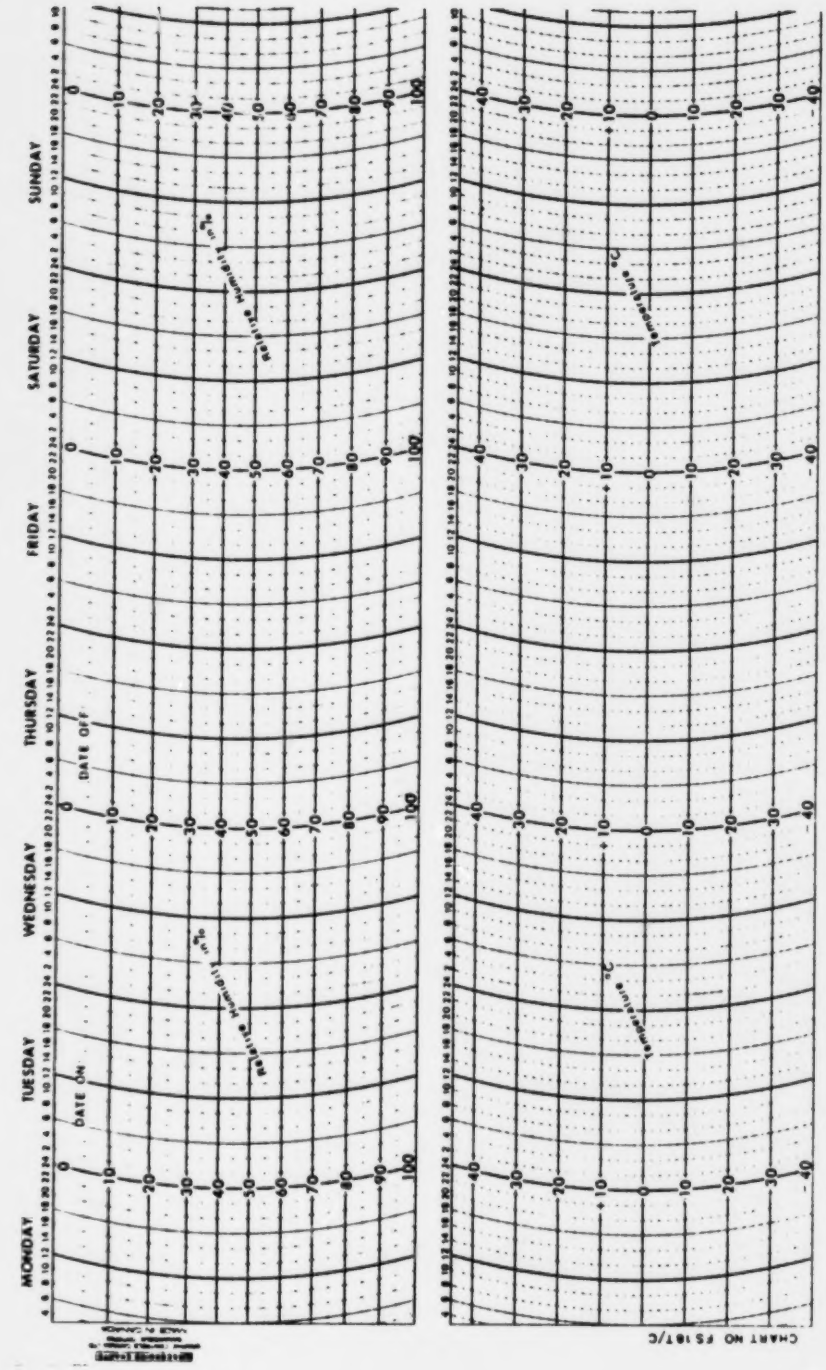

Figure 3.3.1: Hygrothermograph Chart

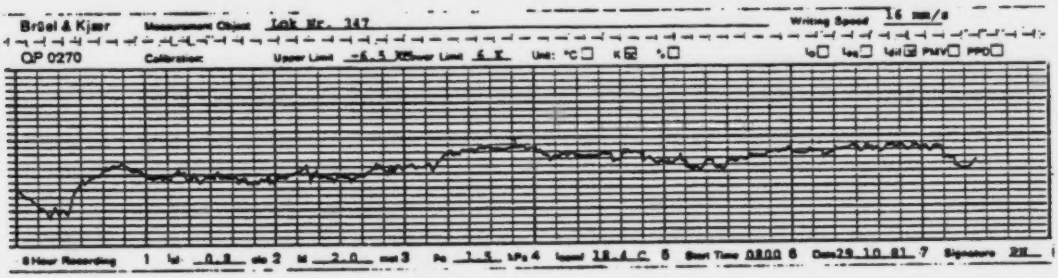

Figure 3.3.2: Example of a Recording Made Using the Type 2306 Level Recorder

All parameters outside of required bounds must be examined to determine if there are patterns to the non–compliance. This exercise in particular must employ the available results of all evaluation techniques.

There should be a summary section to provide the reader with an overall impression of how a building is performing with respect to the requirements for thermal comfort. The percentage of ASHRAE standard compliance overall with a further breakdown by parameter with discussions of the relative importance of each should be provided.

The findings of any study of the interior climate must include floor plans showing test locations, and a list of test locations with corresponding measured environmental factor values in tabular form. An indicator to show whether these values are within or outside the bounds of the ASHRAE thermal comfort standard must be included.

The results of other evaluation techniques are incorporated if available. The most significant of these are control sensor accuracy determination, mechanical system testing, ventilation and air leakage rate evaluation, and exterior environment monitoring. Procedures for the suggested evaluations can be found in other class D documents of this series.

The report should provide a list of possible actions to remedy the problems identified. This list will be used by a transdisciplinary team. The options will be rated based on the effect of each on total building performance.

3.3.5 Resource Allocation and Timing

If a thermal comfort meter with a graphic level recorder is used, one half–hour should be allocated for set–up of equipment at each location. If the data acquisition system is used, one hour should be estimated for set–up time. One day should be set aside for equipment preparation, packing, shipping and checking. Wiring and set–up of thermal comfort stands with the data acquisition system will require one half–hour per stand.

Analysis time will depend on the amount of data gathered and the method of recording. In any case, unless extraordinary volumes of data have been recovered, the analysis and report–writing should not take more than two weeks for a building of less than 10 000 m².

3.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All thermal comfort data sheets, data cassettes, hygrothermograph charts, level recorder charts, floor plans, notes, field trip summaries, and preliminary reports are to be retained.

4. REFERENCES

1. American National Standards Institute (ANSI)/American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE 55-1981 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 1981.

2. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **ASHRAE Handbook - Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 1985.

3. Bruel and Kjaer. **Thermal Comfort Meter Type 1212 Instruction Manual**. Naerum, Denmark, 1982.

4. Deutsches Institut für Normung. **DIN-1946 - Part 2 - Air-Conditioning - Health Requirements**. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 1983.

5. Fanger, P.O. **Thermal Comfort**. New York: McGraw-Hill, 1972.

6. International Organization for Standardization. **ISO 7730, Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort**. International Organization for Standardization, 1984.

7. MacIntyre, D.A. **Indoor Climate**. London: Applied Science Publishers Ltd., 1978.

8. Markus, T. and Morris, E.N. **Buildings, Climate and Energy**. London: Pitman, 1980.

9. Public Works Canada. **MD-15000 - Environment - Standards and Guidelines - Mechanical Design**. Ottawa: Public Works Canada, 1984.

10. _____. **Operating Guidelines for Energy Conservation**. Ottawa: Public Works Canada, 1982.

11. _____. **Harry Hays Building, Calgary, Alberta - Stage 1 in the Development of Total Building Performance, Volume 1, Summary Report**. Ottawa: Architectural and Building Sciences Division - Public Works Canada, November 1983, Internal Document.

12. _____. **Harry Hays Building, Calgary, Alberta - Stage 1 in the Development of Total Building Performance, Volume 8, Thermal Comfort**. Ottawa: Architectural and Building Sciences Division - Public Works Canada, 1983, Internal Document.

13. _____. **Winnipeg Taxation Centre, Winnipeg, Manitoba - Occupancy Analysis Report**. Ottawa: Architectural and Building Sciences Division - Public Works Canada, November 1984, Internal Document.

14. _____. **Thermal Comfort Conditions in the Winnipeg Taxation Centre, Winnipeg, Manitoba.** Ottawa: Architectural and Building Sciences Division – Public Works Canada, September 1984, Internal Document.

15. _____. **Mechanical Systems Evaluation:** document D33, Ottawa: Public Works Canada, 1988.

16. _____. **Weather Data Collection:** document D11, Ottawa: Public Works Canada, 1988.

5. APPENDICES

5.1 STANDARD TERMS AND UNITS OF MEASUREMENT

Acceptable thermal environment – a thermal environment that at least 80% of the occupants would find acceptable.

Adjusted dry–bulb temperature (t_{adb}) – the average of the air temperature (t_a) and the mean radiant temperature (t_r) at a given location. The t_{adb} is approximately equivalent to operative temperature (t_o) at air motions less that 0.4 m/s when the mean radiant temperature t_r, is less than 50°C.

Air Conditioning – the process of treating air to meet the requirements of a conditioned space by controlling its temperature, humidity, cleanliness and distribution.

Air, Exhaust – air removed from a space and not reused therein.

Air, Outdoor – air taken from the external atmosphere and, therefore, not previously circulated through the system.

Air, Recirculated – air removed from the conditioned space and intended for reuse as supply air.

Air Temperature (t_a) – the temperature of the air measured at a test point in the conditioned space.

Air, Ventilation – that portion of supply air which is outdoor air plus any recirculated air that has been treated for the purpose of maintaining acceptable indoor air quality.

Ambient air – the air surrounding an object.

Clo – a numerical representation of a clothing ensemble's thermal resistance, 1 clo = 0.155 m^2.K/W.

Closed Room – an enclosed space no greater in size than the diffuser spacing plus 4.5 m. Walls may have a significant effect on air currents created by the air diffusion system.

Comfort temperature – the value of equivalent temperature required to achieve thermal comfort when the clothing, activity level and humidity are given.

Dew point temperature (t_{dp}) – the temperature at which moist air becomes saturated with water vapor when cooled at constant pressure.

Dust – an air suspension (aerosol) of particles of any solid material, usually with particle size less than 100 micrometres.

Effective Temperature (ET*) – the uniform temperature of a radiantly black enclosure at 50% relative humidity, in which an occupant would experience the same

comfort, physiological strain and heat exchange as in the actual environment with the same air motion.

Equivalent temperature – the temperature of the air and all the interior surfaces in a reference environment in which the air is still and the temperature has been adjusted to obtain the same heat loss from a person by convection and radiation as that person experiences in the actual environment.

Exfiltration – air leakage outward through cracks and interstices and through ceilings, floors and walls of a space or building.

Globe Temperature (t_g) – the equilibrium temperature at the centre of a thin–walled sphere having a nonreflective surface with an emissivity of 0.95 $\pm$0.05.

Infiltration – air leakage inward through cracks and interstices, and through ceilings, floors and walls of a space or building.

Interior zone – an occupied region parallel to and more than 4.5 m from any exterior wall. A region not directly affected by building exterior wall loads.

Mean radiant temperature (t_r) – the uniform surface temperature of a radiantly black enclosure in which an occupant would exchange the same amount of radiant heat as in the actual non–uniform space.

Metabolic Rate – rate of energy production of the body. Metabolism, which varies with activity, is expressed in met units. One met is defined as 58.2 W/m^2, which is equal to the energy produced per unit surface area of a seated person at rest. The surface area of an average man is about 1.8 m^2.

Natural Ventilation – the movement of air into and out of a space through intentionally provided openings, such as windows and doors, or through nonpowered ventilators or by infiltration.

Occupied Zone – the region within a space, normally occupied by people, generally considered to be between the floor and 1800 mm above the floor and more than 600 mm from walls or fixed air conditioning equipment.

Open Space – any area with dimensions greater than the terminal spacing plus 4.5 m not enclosed by walls or partitions. In these areas, walls do not have a significant effect on the air currents created by the air diffusion system.

Operative temperature (t_o) – the uniform temperature of a radiantly black enclosure in which an occupant would exchange the same amount of heat by radiation plus convection as in the actual non–uniform environment. Operative temperature is numerically the average, weighted by respective heat transfer coefficients (h_c and h_r), of the air (t_a) and mean radiant temperature (t_r)

$$t_o = (h_c t_a + h_r t_r)/(h_c + h_r)$$

At air speeds of 0.4 m/s or less and t_r less than 50°C, operative temperature is approximately the simple average of the air and mean radiant temperatures, and is equal to the adjusted dry bulb temperature.

Optimum Operative Temperature – temperature that satisfies the greatest possible number of people at a given clothing and activity level.

Particulate – a state of matter in which solid or liquid substances exist in the form of aggregated molecules or particles. Airborne particulate matter is typically in the size range of 0.01 to 100 micrometres.

Perimeter zone – a space, parallel to and within 4.5 m of an exterior wall, that is affected by building exterior loads.

Plane Radiant Temperature (t_{pr}) – the uniform temperature of an enclosure in which the incident radiant flux on one side of a small plane element is the same as in the existing environment.

PMV – predicted mean vote, an index that predicts the mean value of the votes of a large group of persons exposed to the same environment on the following seven point thermal sensation scale:

+ 3	hot
+ 3	hot
+ 2	warm
+ 1	slightly warm
0	neutral
– 1	slightly cool
– 2	cool
– 3	cold

A PMV between −0.5 and +0.5 indicates a PPD of 10% or less.

Predicted percentage dissatisfied (PPD) – an index that provides a quantitative prediction of the number of thermally dissatisfied persons. It predicts the percentage of a large group of people exposed to the same environment likely to feel thermally uncomfortable, ie. voting hot (+3), warm (+2), cool (−2) or cold (−3) on the 7−point thermal sensation scale. PPD is dependent on PMV. Given a PPD, the remainder of the group (100% – PPD) will feel thermally neutral, slightly warm or slightly cool.

Radiant temperature asymmetry (Δt_{pr}) – the difference between the plane radiant temperature of the two opposite sides of a small plane element.

Relative humidity (RH) – the ratio of water vapor present in interior air to that present in saturated air at the same temperature and barometric pressure; approximately, it equals the ratio of the partial pressure or density of the water vapor in the air to the saturation pressure or density, respectively, of water vapor at the same temperature.

Return air – air removed from a space to be then recirculated or exhausted.

Supply air – air delivered to a conditioned space and used for ventilation, heating, cooling, humidification or dehumidification.

Thermal comfort – a condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment.

Thermal environment – those characteristics of the environment that affect a person's heat loss.

Thermal sensation – a conscious feeling commonly graded into the categories of cold, cool, slightly cool, neutral, slightly warm, warm and hot.

Thermodynamic Wet Bulb Temperature – also called the Adiabatic Saturation Temperature – is that temperature at which water, by evaporating into air, can bring the air to saturation adiabatically at the same temperature. The wet bulb temperature measured with an appropriate psychrometer can approach the thermodynamic wet bulb temperature.

Vapour – a substance in gas form, particularly one near equilibrium with its condensed phase, which does not follow the ideal gas laws; in general, any gas below its critical temperature.

Ventilation – the process of supplying and removing air by natural or mechanical means to and from any space. Such air may or may not be conditioned.

In evaluating the indoor climate, the following units of measurements are used:

activity level	metabolic rate(1 met=58 W/m^2)	met
clothing level	(1 clo=0.155 m^2.K/W)	clo
dew point temperature(t_{dp})	degrees Celsius	°C
length	metres	m
relative humidity(RH)	percent	%
temperature(t)	degrees Celsius	°C
temperature difference(Δt)	Kelvins	K
time	24 h clock	xx:xx
vapour pressure	Pascals	Pa
air speed(v)	metres per second	m/s

5.2 GOVERNING AUTHORITIES AND REGULATION

There are thermal comfort standards and guidelines in place throughout the world. For our purposes, the ANSI/ASHRAE Standard 55–1981, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (Reference 1), has been chosen as the primary standard. It classifies the parameters that influence the occupant's thermal sensations, sets limits for acceptance, and outlines the instrumentation and procedure requirements necessary to test for compliance. It lists the following requirements for thermal comfort under light, mainly sedentary activity levels (less than or equal to 1.2 met) and with typical clothing levels (for summer 0.5 clo, and for winter 0.9 clo).

Humidity – dew point temperature (t_{dp}) – not less than 1.7°C and not greater than 16.7°C. For the temperature bounds of the comfort zones described in this standard, the corresponding limits of relative humidity range are approximately 20% and 70%.

Air movement – maximum time average air movement – in winter not greater than 0.15 m/s, in summer not greater than 0.25 m/s (In summer the comfort zone can be extended by 1°C for each air movement increase of 0.275 m/s to a maximum of 0.8 m/s (and 28.9°C).)

Vertical temperature difference – air temperatures at 0.1 m from floor versus 1.7 m from floor – not greater than 3K.

Radiant asymmetry – in the vertical direction maximum 5K, in the horizontal direction maximum 10K.

Floor temperature – greater than 18°C but less than 29°C.

Operative temperature – zones defined by – in summer 22.6°C to 26°C at 16.7°C t_{dp}, and 23.3°C to 27.2°C at 17°C t_{dp} – in winter 19.5°C to 23°C at t_{dp} = 16.7°C and 20.2°C to 24.6°C at 1.7°C t_{dp}.

Temperature cycling – if peak variation is greater than 1.1°K, then maximum rate is 2.2°K/hr.

Temperature drifting and ramping – less than 0.6°K/hr and not outside comfort zone by more than 0.6°K for more than 1 hr.

The international standard ISO 7730 – 1984, entitled "Moderate Thermal Environments – Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort" (Reference 6) is used as the source in measurement of PMV. It does not present a table of comfort requirements. However Annex A of the standard states "It is recommended that the PPD be lower than 10%." Figure 5.2.1 shows the relationship between PMV and PPD.

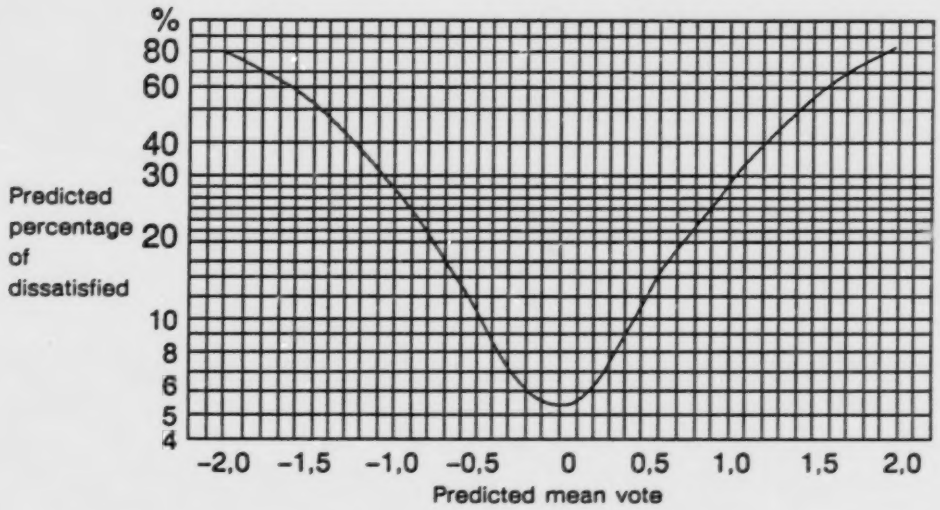

Figure 5.2.1: Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) as a Function of Predicted Mean Vote (PMV)

Public Works Canada issued MD 15000 (Reference 9), an environmental standard and guideline for use in the design of HVAC systems, in 1984. It states that HVAC systems must be capable of maintaining a minimum temperature of 20°C when heating and a maximum of 26°C when cooling.

At present, the department uses the 1982 revision of Operating Guidelines for Energy Conservation (Reference 10) as a guide to the efficient operation of building systems. It calls for a maximum heating temperature of 20°C and a minimum cooling temperature of 26°C.

Temperature:

Section 5.1.1 of ASHRAE 55–1981 further details temperature requirements as follows:

The insulation value of clothing worn by people indoors is influenced by the season and outside weather conditions. During the summer months, typical clothing in commercial establishments consists of lightweight dresses, lightweight slacks, short–sleeved shirts or blouses and accessories, sometimes including a thin jacket. These ensembles have insulation values ranging from 0.35–0.6 clo. The winter heating season brings a change to thicker, heavier clothing. A typical ensemble includes heavy slacks or skirt, long–sleeved shirt or blouse, warm sweater or jacket and appropriately warm accessories such as stockings, shoes and underwear. Such a typical indoor winter ensemble would have an insulation value range from 0.8 to 1.2 clo at other times, between seasons, the clothing may likely consist of medium weight slacks or skirt, long–sleeved shirt or blouse, etc. having an insulation value in the range of 0.6 to 0.8 clo. Because of the seasonal clothing habits of building occupants, the temperature range for comfort in summer is higher than for winter. The operative temperature range between which at

least 80% of the sedentary or near sedentary (less than 1.2 met) occupants will find the environment thermally acceptable are given in Table 5.2.1. The acceptable range of operative temperature and humidities for the winter and summer are further defined on the psychrometric chart of Figure 2.2.1. The coordinates of the comfort zones are:

Winter: t_o = 19.5–23°C at 16.7°C t_{dp} and t_o = 20.2–24.6°C at 1.7°C t_{dp}. The slanting side boundaries of the winter zone correspond to 20°C and 23.6°C ET* lines and are loci of constant comfort or thermal sensations.

Summer: t_o = 22.6–26°C at 16.7°C t_{dp} and t_o = 23.3–27.2°C at 1.7°C t_{dp}. The slanting side boundaries of the summer zone correspond to 22.8°C and 26.1°C ET* lines.

The zones overlap in the 23–24°C range. That is, in this region people in summer dress would tend to approach slightly cool while those in winter clothing would be near the slightly warm sensation. The boundaries of each comfort zone are not in reality as sharp as depicted in Figure 2.1.1 due to individual, clothing and activity differences. Table 5.2.1 also gives the acceptable operative temperature range for sedentary persons in minimal clothing.

From the above excerpt, it can be seen that a change in dew point temperature from 1.7°C to 16.7°C (corresponding roughly to a relative humidity increase from 22% to 65% at 24°C) results in a maximum change in acceptable operative temperature of only 1.6°C.

Compared to the effect of ambient air and mean radiant temperature, humidity is a relatively minor factor.

Season	Description of typical clothing	clo	Optimum operative temperature	Operative temperature range for 80% thermal acceptability[b]
Winter	heavy slacks long sleeve shirt and sweater	0.9	21.7°C	20.0–23.6°C
Summer	light slacks and short sleeve shirt	0.5	24.4°C	22.8–26.1°C
	minimal	0.05	27.2°C	26.0–29.0°C

a. Other than clothing there are no seasonal or sex variations on the temperatures of Table 5.2.1. For infants, certain elderly people and individuals who are physically disabled the lower limits of Table 5.2.1 should be avoided.
b. Slow air movement (less than or equal to 0.15 m/s) and 50% RH.

Table 5.2.1: Operative Temperatures for Thermal Acceptability of Sedentary or Slightly Active Persons ($\leq$ 1.2 mets) at 50% Relative Humidity[a]

Humidity:

Section 5.1.2 of the ASHRAE standard, in which acceptable humidity conditions are defined, is reprinted as follows:

Humidity is described in terms of dew point temperature. In the zone occupied by sedentary or near sedentary people, the dew point temperature shall not be less than 1.7°C or greater than 16.7°C. The thermal effect of humidity on the comfort of sedentary persons is small. The upper and lower dew point limits are based on considerations of comfort, respiratory health, mould growth and other moisture–related phenomena. It should be noted that humidification in winter may need to be limited to prevent condensation on building surfaces, e.g., windows. Raising the relative humidity above 50% in winter has not been shown to improve respiratory health.

5.3 BUILDING PERFORMANCE EVALUATION DOCUMENT LIST

Documents in this series have been divided into four classes. Class A documents describe the use of documents in the other three classes. Class B is a catalogue of tests which includes an index and cross reference list. Class C documents provide an overview of the three performance areas and summarize the Class D documents in the respective area. Class D documents contain descriptions of performance attributes and detail means of assessing those attributes.

	A1	Project Manager's Guide
	A2	Property Manager's Guide
	B1	Catalogue of Tests
Overviews	C1	Environmental and Energy Performance
	C2	Functional Performance
	C3	Systems and Material Performance
Environmental and Energy Performance	D01	Pollutant Evaluation
	D02	Pollution Migration
	D03	Thermal Environment Evaluation
	D04	Global Evaluation: Energy Performance
	D05	Component Evaluation: Energy Performance
	D06	Equipment and Systems Evaluation: Energy Performance
	D07	Retrofit Evaluation: Energy Performance
	D08	Acoustic Environment Evaluation
	D09	Air Circulation Evaluation
	D10	Illumination Evaluation
	D11	Weather Data Collection
Functional Performance	D20	Record and Archive Analysis
	D21	Plan Annotation
	D22	Focused Interviews
	D23	Questionnaires
	D24	Observation
Systems and Material Performance	D30	Structural Walls and Columns: Condition Survey
	D31	Structural Slabs and Roofs: Condition Survey
	D32	Parking Garages: Condition Survey
	D33	Mechanical Systems Evaluation
	D34	Mechanical Controls Evaluation
	D35	Electrical Systems Evaluation
	D36	Airtightness and Pressure Monitoring
	D37	Measurement of Outdoor Air Supply Rate
	D38	Thermographic Inspections of Building Enclosures
	D39	Thermal Resistance Measurement
	D40	Moisture Content Inspections
	D41	Roofing Systems Evaluation

Travaux publics Canada
Services d'architecture et de génie

Public Works Canada
Architectural and Engineering Services

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Évaluation de l'ambiance thermique

Document D03

Canada

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Évaluation de l'ambiance thermique

Document D03

SAG 1-4:86-23

mars 1988

Le ministre des Travaux publics ne fait aucune recommandation ou n'endosse sous quelque forme que ce soit, exprimée ou tacite, cette publication ou les programmes ou l'information qu'elle contient quant à la qualité, la commercialisabilité, l'adéquation à une fin particulière ou la capacité à produire un résultat quelconque. En aucun cas, le Ministre ou Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, les employés, fonctionnaires ou agents gouvernementaux ne peuvent être tenus responsables à l'égard de quiconque pour un préjudice direct, indirect ou découlant de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information y contenus.

Publiés par les Services d'architecture et de génie
Travaux publics Canada

Travaux publics Canada | Public Works Canada

FICHE SIGNALÉTIQUE DE DOCUMENT

1. Titre du document ÉVALUATION DE L'AMBIANCE THERMIQUE	2. Numéro de contrôle AES/SAG 1-4:86-23
	3. Date Mars 1988
4. Auteur(s) B. Tilley	5. No de réf. du conseil
6. Chargé de projet	7. No de la collection technique D03
8. Nom et adresse de l'organisme rédacteur Division du rendement des immeubles, T.P.C. Local C-456, Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Téléphone: (613) 998-7830	9. Type de document Lignes directrices
	10. Nombre de pages 44
11. Nom et adresse de l'organisme promoteur Technologie du design, de la construction et de l'immobilier Programmes de soutien à la gestion immobilière fédérale Logement	12. No de dossier de TPC A4270-16
	13. No de projet de TPC 602055
14. Notes Toutes questions ou commentaires doivent être dirigés à l'organisme rédacteur, se référer à 8 ci-haut.	15. No de publication de ASC
	16. ISBN

17. Résumé

Le présent document porte sur l'analyse de l'ambiance thermique à l'intérieur des bâtiments et sur les techniques utilisées aux trois étapes d'évaluation. Ces trois étapes se situent à partir d'une étude des plans et archives jusqu'à l'utilisation d'instruments de mesure sophistiqués. Les facteurs environnementaux qui influencent l'état thermique du bâtiment occupé sont mesurés. La perception des occupants sur l'ambiance thermique est également examinée.

L'une des fonctions essentielles d'un bâtiment est de protéger les occupants contre les conditions thermales extérieures défavorables et déassurer un environnement intérieur sain et productif. L'ambiance thermique est analysée par le degré d'habillement et le niveau d'activité des occupants; la vitesse de l'air, la température ambiente, la température radiante moyenne; et le taux d'humidité relative dans l'air environnant.

18. Diffusion Exemplaires disponibles: Centre de documentation Services d'architecture et de génie Travaux publics Canada Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Mots clés	
	20. No de catalogue du centre de documentation BP D03	21. Prix

DPW 2398 (86/09)

TABLE DES MATIÈRES

1.	**INTRODUCTION**	1
1.1	But et objectifs	1
1.2	Information de base	1
2.	**DÉLIMITATION DU SUJET**	4
2.1	Cadre général	4
2.2	Limite des techniques d'évaluation	6
3.	**MÉTHODOLOGIE**	9
3.1	Étape I – Évaluation préliminaire (Introduction)	9
3.1.1	Description des techniques	9
3.1.2	Équipement	10
3.1.3	Démarche détaillée	10
3.1.4	Évaluation	14
3.1.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	15
3.1.6	Documentation: établissement et classement des documents de travail	15
3.2	Étape il – Techniques simples de mesure	16
3.2.1	Description des techniques	16
3.2.2	Équipement	16
3.2.3	Démarche détaillée	17
3.2.4	Évaluation	18
3.2.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	19
3.2.6	Documentation: établissement et classement des documents de travail	19
3.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	19
3.3.1	Description des techniques	19
3.3.2	Équipement	20
3.3.3	Démarche détaillée	23
3.3.3.1	Démarches préliminaires	23
3.3.3.2	Mesure détaillée à des moments déterminés	25
3.3.3.3	Contrôle à moyen terme	28
3.3.4	Évaluation	29
3.3.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	33
3.3.6	Documentation: établissement et classement des documents de travail	33
4.	**RÉFÉRENCES**	34
5.	**ANNEXES**	36
5.1	Termes et unités standards de mesure	36
5.2	Autorités compétentes et réglementation applicable	40
5.3	Liste de documents évaluant le rendement des immeubles	44

LISTE DES FIGURES

2.1.1	Diagramme de confort thermique	*7*
3.3.1	Diagramme d'hygrothermographe	*31*
3.3.2	Example de tracé obtenu sur enregistreur de type 2306	*32*
5.2.1	Pourcentage prévu d'insatisfaction (PPI) en fonction de la valeur moyenne prévue (VMP)	*41*

LISTE DES TABLEAUX

3.3.1	Fiche de données sur le confort thermique	*27*
5.2.1	Température opératives assurant la satisfaction thermique de personnes sédentaires ou légèrement actives (<1.2 mets) avec un taux d'humidité relative de 50% (a)	*43*

1. INTRODUCTION

1.1 BUT ET OBJECTIFS

Les conditions thermiques représentent un élément important de l'ambiance. L'une des fonctions essentielles d'un bâtiment est de protéger les occupants contre les conditions thermales extérieures défavorables et d'assurer un environnement intérieur sain et productif.

La méthodologie décrite ici vise les objectifs suivants:

1. mesurer les paramètres physiques de l'ambiance thermique, et notamment ceux qui permettent de faire la comparaison avec les normes ASHRAE et ISO concernant le confort thermique;

2. mesurer la sensation de confort et d'inconfort thermiques en observant le comportement des occupants, en analysant leurs réponses aux questionnaires et aux entrevues, de même qu'en étudiant les dossiers et les archives;

3. évaluer l'aptitude d'un bâtiment à assurer des conditions propices au rendement et la comparer aux prescriptions des normes ASHRAE et ISO;

4. fournir une bonne base sur laquelle s'appuyer pour prendre des mesures correctives si elles sont nécessaires pour améliorer le milieu de travail.

Le spécialiste en confort thermique s'intéresse à l'optimisation du climat intérieur du bâtiment, ce qui ne se traduit pas nécessairement par une efficacité énergétique optimale. Il faut donc en arriver à un compromis en pondérant tous les facteurs en cause. Le processus d'évaluation doit donc se fonder sur les connaissances en matière d'utilisation d'énergie et tenir compte des autres secteurs à problèmes à l'étape de la recommandation des solutions.

Étant donné que d'autres processus d'évaluation, celui des systèmes mécaniques par exemple, peuvent appeler une analyse des conditions thermiques, des mesures et une évaluation physiques de l'ambiance thermique peuvent être entreprises pour d'autres disciplines.

1.2 INFORMATION DE BASE

Dans toute discussion traitant du confort, de la qualité ou de l'ambiance thermiques, le facteur qui paraît prédominant est la température. Pourtant, c'est la combinaison de la température, de la vitesse de l'air et du taux d'humidité qui détermine l'ambiance thermique d'un milieu de travail.

On considère généralement que la température est celle de l'air qui entoure le travailleur. En fait, il y a deux facteurs distincts qui entrent en jeu: la température de l'air environnant (température de l'air ambiant) ainsi que les pertes et gains de chaleur générés par les parois de l'enceinte. Ces pertes et gains de chaleur sont exprimés par la température moyenne radiante.

Dans les grands bâtiments, ce sont les zones intérieures qui sont les plus nombreuses. La température des parois et partant la température moyenne radiante, y sont plus ou moins égales ou supérieures à la température de l'air ambiant. Les mesures prises au cours de deux études (références 12, 14) indiquent que, dans les zones intérieures, les températures moyennes radiantes sont généralement supérieures aux températures de l'air ambiant, et cette différence peut être de l'ordre de 1°C. Ce phénomène est probablement attribuable à la chaleur dégagée par les luminaires qui haussent la température mesurée au thermomètre à sphère.

Dans les zones périphériques, les températures moyennes radiantes sont influencées par la température de surface des vitrages et des murs extérieurs. Selon les conditions atmosphériques, la température moyenne radiante peut être supérieure ou inférieure à la température de l'air ambiant.

Les plaintes émanant des travailleurs ont généralement conduit à mesurer la température de l'air ambiant ainsi que le taux d'humidité relative. Dans les locaux périphériques toutefois, il est important de tenir compte à la fois de la température de l'air ambiant et de la température moyenne radiante, et de faire l'évaluation en fonction d'une combinaison des deux, c'est-à-dire en fonction de la température opérative.

Les études ont surtout été axées sur les problèmes causés aux matériaux et aux parois par l'humidité plutôt que sur le maintien d'un climat intérieur confortable. Cela ne signifie pas pour autant que les effets de l'humidité sur l'ambiance n'ont pas fait l'objet de recherches ou de directives appropriées (référence 1). La plupart des grands bâtiments climatisés disposent de systèmes de régulation de l'humidité. Mais, dans la pratique, l'exploitation de ces systèmes est bien souvent sujette à des contraintes considérées comme prioritaires, notamment les problèmes d'entretien des installations mécaniques ou les dommages causés à la charpente par les exfiltrations. Des études (références 11, 13, 14) ont déterminé que le taux d'humidité des locaux occupés est à l'origine de la plupart des plaintes et constitue, de l'avis des occupants, le facteur environnemental compromettant le plus leur aptitude à travailler.

Au Canada, les taux d'humidité intérieure en hiver sont bas étant donné que l'on chauffe l'air froid extérieur dont la teneur en vapeur d'eau est faible. On compense généralement ce manque par le biais d'un système d'humidification. En été, par contre, l'air extérieur qui est chargé de vapeur d'eau fait augmenter le taux d'humidité des locaux. Le recours au conditionnement d'air devrait en principe permettre de le faire diminuer, mais il peut s'avérer nécessaire de déshumidifier davantage.

Les directives suivantes devraient être prises en considération lors du choix de l'emplacement, du moment et de la durée de la mesure.

Il faudrait quantifier et évaluer les conditions en régime dynamique et non uniforme, comparer les zones qui présentent des problèmes avec celles qui n'en ont pas et comparer aussi les zones où des défectuosités ont été mesurées avec celles qui satisfassent aux exigences.

La norme ASHRAE définit les conditions extérieures à réunir pour les essais de conformité. On suppose généralement que si un bâtiment peut assurer un climat

intérieur satisfaisant alors que les conditions extérieures sont extrêmes, il pourra maintenir une ambiance thermique satisfaisante lorsque les conditions extérieures se situent en–deçà des extrêmes. Or, ce n'est pas nécessairement le cas. Le bâtiment et ses systèmes mettent beaucoup plus de temps à réagir à des conditions extérieures se situant entre les deux extrêmes. Un bâtiment peut ne pas être en mesure de réagir suffisamment vite à des changements rapides (mais pas extrêmes) de conditions extérieures, ou d'assurer une régulation adéquate dans les locaux lorsque la demande de chauffage ou de refroidissement est faible ou modérée. Par exemple, une chaudière surdimensionnée produisant de l'eau à haute température peut surchauffer un local ou entraîner des chevauchements chauffage– refroidissement pendant les périodes où la demande de chauffage est minimale. C'est pourquoi, il peut être utile de procéder aux essais pendant des périodes où les conditions atmosphériques ne sont pas extrêmes.

Il serait difficile de procéder à un contrôle continu pendant plusieurs saisons d'affilée. Mais il est toutefois raisonnable de tenter un contrôle de moyenne durée, notamment à des saisons différentes et sur plusieurs semaines ou plusieurs mois, pour évaluer l'influence combinée de variables telles que les températures de l'air de soufflage, les températures ambiantes et les températures extérieures. Les facteurs à prendre en note sont les cycles quotidiens et hebdomadaires d'exploitation des installations de Chauffage, Ventillation et de Conditionnement d'Air (CVCA) et d'occupation des locaux.

Des questionnaires portant sur les divers paramètres ont été établis en vue de récolter les renseignements nécessaires à l'évaluation auprès des occupants. Les réponses devraient être consignées de manière structurée pour pouvoir être comparées avec les résultats des mesures physiques. Cette comparaison permet

1. de vérifier le degré et l'étendue des conditions défavorables;
2. d'aider à définir les problèmes et à élaborer des mesures correctives;
3. de faire ressortir les lacunes de l'un ou l'autre système de collecte des données;
4. de confirmer ou de remettre en question la validité des normes;
5. d'indiquer les domaines appelant des études supplémentaires concernant les effets sensibles des caractéristiques de l'ambiance.

2. DÉLIMITATION DU SUJET

2.1 CADRE GÉNÉRAL

Le système thermorégulateur de l'homme tente de maintenir constante la température interne du corps en équilibrant les pertes et les gains de chaleur. Pour un niveau d'activité donné dans un environnement donné, un individu produit de la chaleur, ce qui entraîne une augmentation de sa température interne. Le corps réagit en augmentant la vitesse d'échange thermique de l'intérieur vers l'extérieur. A mesure que sa température superficielle extérieure augmente, d'autres réactions se produisent, notamment la transpiration, pour accélérer le transfert de chaleur du corps à l'ambiance. Lorsque la température interne du corps diminue, des réactions physiologiques se produisent pour compenser cette diminution en ralentissant le transfert de chaleur vers la surface du corps et l'ambiance. Les modes d'échange thermique sont les suivants:

1. perte de chaleur par diffusion transcutanée de la vapeur d'eau;
2. perte de chaleur par évaporation de la transpiration;
3. perte de chaleur latente par respiration;
4. perte de chaleur par respiration sèche;
5. transfert de chaleur aux vêtements par conductivité;
6. transfert de chaleur par radiation;
7. perte de chaleur par convection.

La vitesse des échanges thermiques et la direction du flux dans les processus mentionnés ci–dessus sont influencés par des paramètres reliés à l'environnement et l'activité elle–même. Ceux–ci sont:

1. production interne de chaleur (chaleur métabolique), généralement en fonction directe avec le niveau d'activité;
2. degré d'habillement (type de tissu, poids, tissage);
3. températures de l'air environnant;
4. température moyenne radiante;
5. pression de vapeur d'eau dans l'air ambiant (humidité relative);
6. vitesses de l'air (circulation naturelle ou forcée).

Bon nombre de ces paramètres et phénomènes qui déterminent la vitesse d'échange thermique interagissent et c'est donc un processus fort complexe qui déterminera l'état thermique d'un individu.

Des conditions localisées dans le temps et dans l'espace, entraînent des ajustements dans le processus complexe d'équilibre thermique du corps. A la vitesse et à l'efficacité avec lesquelles le corps peut s'adapter aux paramètres variables de même que l'effort à fournir influenceront sur le niveau de confort de l'individu.

L'ambiance thermique détermine le degré de confort ou d'inconfort par trois grandes variables:

1. l'aptitude du corps à maintenir un équilibre thermique où la quantité de chaleur interne produite est égale à la quantité de chaleur cédée à l'ambiance;
2. le degré de transpiration pour réguler les pertes de chaleur;
3. la température moyenne de la peau.

La première condition doit être remplie pour atteindre le confort, mais elle ne garantit pas le confort à elle seule. Pour cela, il faut que la transpiration et la température moyenne de la peau se trouvent à l'intérieur de certaines limites qui varieront en fonction de l'individu et du niveau d'activité déployée. Elles ne représentent toutefois pas les limites absolues des capacités du corps.

Cela fait plusieurs années que le confort thermique fait l'objet de recherches approfondies, lesquelles ont donné lieu à de nombreux documents sur le sujet (références 2, 5, 7, 8). Ces recherches ont permis d'élaborer des normes (références 1, 4, 6) et des directives (références 9, 10) visant à assurer des conditions saines et sécuritaires pour tous les types d'occupations, de loisirs et d'endroits. Le but majeur de cette imposante étude a été le milieu de travail dans les édifices à bureaux.

Les études expérimentales entreprises par Fanger (référence 5) dans les années 60 et 70 ont permis d'établir une échelle de sensation thermique fondée sur des jugements subjectifs pour une série de conditions strictement contrôlées. Fanger parvint à établir une équation de confort thermique permettant de calculer le jugement moyen en fonction d'une certaine combinaison de conditions thermiques et d'une évaluation des écarts par rapport au jugement. Il nous est donc maintenant possible d'utiliser la valeur moyenne prévue VMP (Predicted Mean Vote PMV) et le pourcentage prévu d'insatisfaction PPI (Predicted Percentage Dissatisfied PPD) pour savoir si les conditions thermiques sont acceptables ou non, telles que définies selon des normes reconnues, et pour juger des effets de la combination de facteurs d'ambiance thermique à un certain moment et à un endroit donnés. Ces facteurs sont la résistance thermique des vêtements (valeur clo), le niveau d'activité, la vitesse de l'air, la température ambiante de l'air, la température moyenne radiante et le taux d'humidité.

Grâce à l'instrument appelé "confortmètre", nous sommes à même de mesurer si la combinaison des paramètres captés est susceptible de causer de l'inconfort aux occupants ainsi que d'évaluer l'étendue de leurs sensations au chaud ou au froid. Une fois que la résistance thermique des vêtements (valeur clo), le niveau d'activité et le taux d'humidité ont été introduits dans le confortmètre, le capteur intégrant calcule directement la VMP et le PPI. Autrement dit, cet instrument intègre les effets des gains ou pertes de chaleur radiante, la température de l'air ambiant et la vitesse de l'air aux rapports prescrits dans l'équation de confort thermique.

Soulignons que, parallèllement à l'évaluation fondée sur des essais et des méthodes d'observation déterminées, il est essentiel de tenir compte des modalités d'exploitation du bâtiment et de ses systèmes dès la phase de planification de l'étude jusqu'à la production du rapport final, et même au-delà. Il faut pour cela trier, colliger et transcrire les résultats des essais, les trouvailles et les théories utilisées par l'ensemble de l'équipe du projet et, au besoin, faire appel aux connaissances de consultants.

Les recherches en matière de confort thermique sont axées sur les charactéristiques qui influencent les trois paramètres de confort mentionnés ci-haut. Elles examinent plus

particulièrement la température de l'air ambiant, la température radiante, la vitesse et l'humidité de l'air environnant.

Les fluctuations locales des conditions thermiques peuvent également influer sur le confort étant donné qu'il faut du temps au corps pour réagir aux conditions changeantes et qu'il n'a qu'une capacité limitée à s'adapter aux courants d'air et aux rayons directs du soleil.

Aux températures qui n'entraînent pas la transpiration, la teneur de vapeur d'eau dans l'air ne contribue que pour une faible part au confort thermique. Aux températures qui entraînent la transpiration, par contre, le facteur de transpiration et d'humidité de l'air jouent un rôle plus important. Le diagramme de confort établi à partir d'un diagramme psychrométrique de la norme ASHRAE 55-1981 (voir figure 2.1.1) montre l'importance relative de l'humidité de l'air dans le maintien de niveaux de confort thermique. On peut voir qu'un changement dans l'humidité relative de 20% à 68% ne modifie les limites de la zone de confort que de 1,6°C au maximum.

Pourtant, les taux d'humidité ont un effet significatif sur la qualité de l'ambiance. Une analyse (référence 13) a confirmé qu'ils influaient sur l'évaluation globale donnée par les occupants concernant la qualité de l'air et qu'il en était question dans les plaintes liées aux problèmes de santé. De plus, la teneur en vapeur d'eau affecte sur la croissance de moisissures et sur l'apparition de condensation, ces deux facteurs ayant une influence sur le confort et sur la performance des matériaux.

2.2 LIMITES DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION

Les réponses obtenues aux entrevues et aux questionnaires peuvent aussi bien se rapporter aux conditions du confort thermique, de la qualité de l'air et de la distribution de l'air qu'aux combinaisons de ces facteurs. L'équipe scientifique et le spécialiste en confort thermique doivent donc être en mesure de faire la distinction entre les effets des conditions thermiques et ceux des autres paramètres.

Pour déterminer la cause, l'étendue et l'importance des problèmes environnementaux, il ne suffit pas de quantifier les indices environnementaux. Les niveaux mesurés obtenus sont le reflet de l'interaction des systèmes de CVCA, de la charpente et de l'enveloppe du bâtiment ainsi que de l'occupation des locaux. L'analyse des installations mécaniques et de leur réseau de distribution de même que de leurs commandes doit être effectuée par des spécialistes en systèmes mécaniques (référence 15).

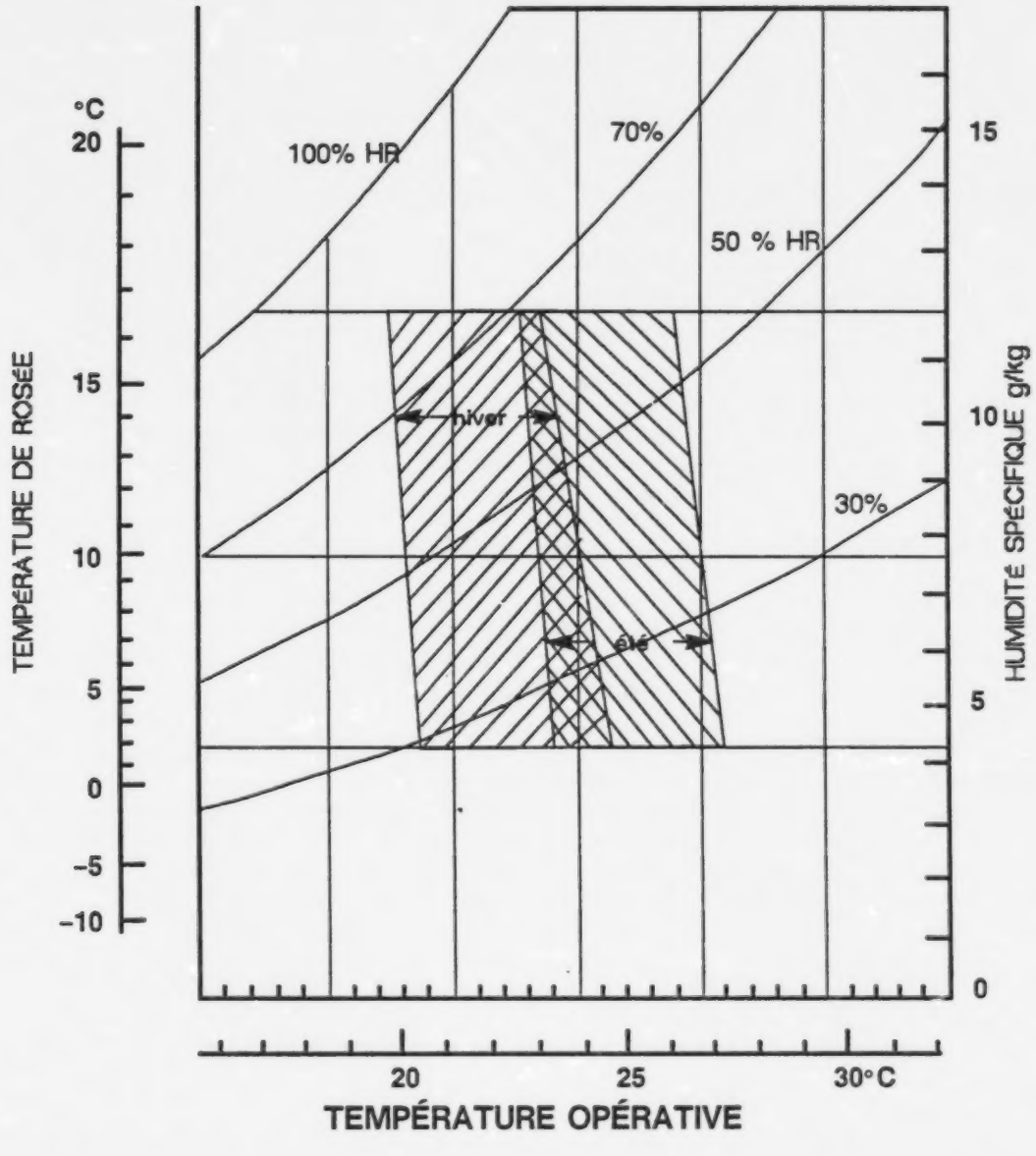

Figure 2.1.1: Diagramme de confort thermique

Températures opératives et taux d'humidité acceptables pour des gens habillés de tenues vestimentaires hivernales et estivales, et pratiquant une activité légère principalement sédentaire (inférieure ou égale à 1,2 mets)

La teneur en vapeur d'eau de l'air d'un bâtiment non climatisé dépend de la température et du dégré d'humidité de l'air extérieur ainsi que du volume d'air extérieur introduit dans le bâtiment. C'est pourquoi, les cycles saisonniers ont une forte influence sur les taux d'humidité. Dans l'interprétation des résultats, il faut tenir compte de la période de l'année à laquelle les essais sont effectués de même que du mode d'exploitation des systèmes mécaniques.

Pour définir l'ambiance thermique de grands bâtiments, il n'est pas possible de prélever les données à tous les postes de travail. Mais il est toutefois essentiel de procéder à des essais aux postes de travail présentant des caractéristiques qui leur sont propres comparativement à l'ensemble du bâtiment à l'étude.

La mesure de la VMP permet de déceler s'il y a un problème lié à la sensation globale du confort thermique. Elle ne permet pas de définir la cause d'inconfort ni d'obtenir des solutions immédiates. Elle ne tient pas compte non plus de l'inconfort thermal local dû à l'asymétrie de température radiante, à la différence verticale de température, aux courants d'air ou aux planchers trop chauds ou trop froids.

La durée pendant laquelle un bâtiment est soumis à l'analyse de même que le nombre et le choix des emplacements étudiés détermineront dans quelle mesure les résultats peuvent servir à décrire la performance thermique globale du bâtiment. La restriction la plus importante consiste à procéder aux essais à des endroits et à des périodes donnés, et à tenter ensuite de projeter les résultats à d'autres périodes et emplacements.

3. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie décrite ici porte sur tous les facteurs qui composent l'ambiance thermique. Lorsque des plaintes précises ne concernent que certaines caractéristiques d'évaluation, la méthode doit être adoptée de manière à n'étudier que le problème soulevé. Bien souvent, cela permet non seulement de réduire les ressources nécessaires mais aussi de procéder à l'analyse requise et de trouver des solutions. Il peut toutefois arriver que cette analyse restreinte ne suffise pas à cerner convenablement le problème et que des études plus approfondies s'imposent.

3.1 ÉTAPE I – ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (INTRODUCTION)

3.1.1 Description des techniques

Au cours de cette première étape, on pourra procéder à une étude des plans et des archives, à une revue générale du bâtiment et à une analyse de l'occupation et de l'utilisation des locaux. A ce stade, l'étude déterminera la cause d'un problème particulier ou les résultats seront utilisés pour développer une nouvelle approche pour une étude plus détaillé comme décrite aux étapes II et III de ce présent document.

L'étude des plans et des archives qui consiste en un examen des plans d'étages et des dossiers du bâtiment, donne un aperçu général des dimensions de la forme et de la performance historique du bâtiment étudié. L'analyste repère les principales composantes des systèmes de chauffage et de refroidissement, d'humidification et de déshumidification, incluant les installations mécaniques de même que les modes d'écrans pare–soleil des fenêtres. Il évalue leur fiabilité d'exploitation et leur efficacité à maintenir les températures et taux d'humidité requis en examinant les dossiers de plaintes de même que les signalements de problèmes de santé.

La revue générale du bâtiment constitue un moyen rapide et peu coûteux, mais pourtant efficace et logique, d'évaluer la performance du bâtiment. Elle permet en outre de bien orienter les méthodes d'évaluation plus détaillées.

La revue générale donne un aperçu général du rendement total des immeubles. L'évaluateur fait ses commentaires concernant l'état général du bâtiment et toute condition particulière liée à l'ambiance thermique.

Il est difficile à ce stade de faire une évaluation directe des températures et des taux d'humidité. Pour faciliter le processus, l'évaluateur utilisera un thermohygromètre portatif qui lui permettra de prendre les mesures nécessaires en cours d'inspection. Il y a certains facteurs visibles qui peuvent donner des indices quant à l'acceptabilité des conditions de l'ambiance. Citons notamment l'habillement des occupants, la présence d'appareils d'appoint de chauffage, de refroidissement, d'humidification ou de déshumidification, la quantité de poussières et l'accumulation d'électricité statique.

L'analyse de l'occupation et de l'utilisation des locaux permet d'établir la perception de l'ambiance thermique par les occupants de même que leur degré de satisfaction. On évalue en outre la capacité du bâtiment à permettre aux organismes qu'il abrite de bien

remplir leurs fonctions en procédant à des entrevues dirigées, à des enquêtes par questionnaires, à une analyse des dossiers, à des annotations de plans et à des observations.

3.1.2 Équipement

Au cours de la revue générale de l'évaluation à l'étape I, on utilise un thermohygromètre. L'instrument préconisé est un indicateur à affichage numérique comportant un capteur d'humidité à fine pellicule capacitive. La plage de mesure est de 0% à 100% HR. La précision est de ±2% HR de 0% à 80% HR à 20°C, de ±3% HR au-dessus de 80% HR, et de +0,3°C au-dessus de la plage de mesure de la température qui va de -20°C à +60°C, avec un temps de réponse de 10 secondes à 63%. Le modèle HM-31 de Vaisala Inc. répond à ces exigences.

3.1.3 Démarche détaillée

Analyse des plans et des archives:

Au cours de l'analyse des plans et des archives, les renseignements concernant les points suivants doivent être notés et enregistrés:

1. dimensions, forme, orientation et location du bâtiment;
2. configuration intérieure du bâtiment (petits locaux fermés, grands espaces ouverts, petites surfaces de plancher, etc.);
3. type et dimension des installations mécaniques (chauffage à l'eau chaude, systèmes à induction, retours canalisés), incluant les systèmes d'humidification et de déshumidification;
4. nature, étendue et importance des plaintes et problèmes enregistrés en matière de température de l'air, de fluctuations de température, de courants d'air, de taux d'humidité, problèmes de santé ou d'inconfort tels que rhumes, maux de gorge, lèvres sèches, irritation des yeux;
5. changements cycliques dans la manifestation des plaintes et dans la nature de celles-ci;
6. degré d'étanchéité à l'air du bâtiment;
7. variations temporaires ou cycliques dans la fonction, l'occupation et les activités du bâtiment;
8. odeurs (importance et nature);
9. sources particulières et inhabituelles d'humidité, telles que fontaines intérieures, procédés nécessitant une alimentation continue en eau à l'air libre ou, au contraire, nécessitant de l'air sec ou produisant de la poussière.

Revue générale du bâtiment:

La revue se fait généralement en compagnie de l'administrateur du bâtiment, des préposés à l'opération du bâtiment et de l'agent de services au client. On fait appel à ces personnes pour obtenir leurs commentaires sur le rendement du bâtiment, les plaintes des occupants et les problèmes d'exploitation. On peut également leur demander de fournir de plus amples détails sur l'antécédent du bâtiment pour des problèmes à intérêt particulier.

Les conditions influençant l'ambiance thermique devraient être notées et enregistrées au cours de l'inspection. En voici quelques-unes:

1. dimensions, forme, orientation et location du bâtiment;
2. configuration intérieure du bâtiment (petits locaux fermés, grands espaces ouverts, petites aires de plancher);
3. type et dimension des installations mécaniques (chauffage à l'eau chaude, système à induction, retours canalisés) ainsi que les systèmes d'humification et de déshumidifcation;
4. niveaux d'habillement des occupants, y compris vêtements supplémentaires tels que chandails et vestes suspendus aux fauteuils;
5. densités et diversités de population et d'équipement dans le bâtiment;
6. nombre et emplacement de dispositifs auxiliaires de ventilation tels que ventilateurs portatifs ou sur pied et purificateurs d'air électroniques et portatifs;
7. mouvement et température de l'air dans les ouvertures (encadrements de portes, portails, entrées);
8. air frais/vicié dans les locaux de travail occupés;
9. nombre de dispositifs installés par les occupants pour contrôler les débits d'air, des bandelettes de papier fixées aux diffuseurs, par exemple;
10. interventions sur les systèmes, blocage des diffuseurs ou des grilles de radiateurs, par exemple;
11. niveaux généraux d'entretien des locaux et du bâtiment;
12. emplacements, réglages et affichages des thermostats, s'ils sont accessibles;
13. niveaux et genres d'activité répartis dans tout le bâtiment;
14. différences de températures mesurées entre locaux situés en périphérie ou dans les zones intérieures du bâtiment (les changements thermiques ressentis par l'observateur permettent de se rendre compte si la température est uniforme dans l'ensemble du bâtiment);
15. type, état et utilisation de dispositifs intérieurs de protection contre le soleil;
16. points évidents d'échange thermique non contrôlé (portes maintenues ouvertes, importantes fissures, fenêtres brisées ou défectueuses);
17. odeurs (son intensité et sa source si possible);
18. nombre de fumeurs et leurs locations;
19. observation particulière des niveaux de poussière;
20. état des plantes d'intérieur, indices d'humidité ou de sécheresse excessive;
21. condensation sur les parois d'enceinte;
22. accumulation et taches de moisissure, notamment sur les parois d'enceinte (par opposition aux tâches attribuables aux infiltrations par le toit ou aux pénétrations d'eau de pluie);
23. températures d'air de distribution;
24. réglage des valves d'air extérieur.

Ces caractéristiques sont enregistrées pour tous les locaux majoritaires du bâtiment à l'étude. En plus, les sources particulières de chaleur et d'humidité (cuisines et fontaines intérieures, par exemple) sont prises en note de même que leurs heures de fonctionnement. Les conditions de température et d'humidité propres aux salles d'ordinateurs et aux laboratoires sont également enregistrées.

Les températures et taux d'humidité sont mesurés et enregistrés.

Analyse de l'occupation et de l'utilisation des locaux:

L'analyse de l'occupation et de l'utilisation des locaux, qui consiste en des entrevues et questionnaires structurés, un examen des dossiers, des annotations de plans et des observations, est décrite dans les cinq documents de Classe D portant sur la série de science fonctionnelle des bâtiments. Une étude tirant parti de ces outils de travail peut être axée sur un problème particulier ou une aire de travail ou avoir une portée générale. Ces outils peuvent donc être utilisés en diverses combinations ou individuellement. Ce sont la nature du problème étudié, les contraintes financières et les échéanciers qui détermineront ceux qui doivent être utilisés.

Le sondage par questionnaire comporte une série de questions liées à la perception de l'ambiance thermique par les occupants. On leur demande d'évaluer la fraîcheur de l'air, les mouvements d'air, les courants d'air, la température, la sécheresse et l'humidité de l'air, les variations de température, les sensations de chaud et de froid, et d'évaluer aussi l'importance de ces facteurs et d'indiquer leur point de vue vis-à-vis du contrôle qu'ils apportent eux-mêmes sur ces facteurs. Les problèmes de maux de gorge, irritation des yeux (fatigue, larmoiement, vision troublée), rhumes et grippes, toux, fatigue, irritations cutanées, allergies et états des sinus sont également pris en considération.

On a généralement recours à deux échelles pour mesurer le confort thermique. Pour autant que les contraintes imposées par l'ensemble de l'étude le permettent, il faudrait les utiliser pour permettre une comparaison directe avec les recherches antérieures.

L'échelle de sensation thermique comporte 7 niveaux:

froid	−3
frais	−2
légèrement frais	−1
neutre	0
légèrement tiède	+1
tiède	+2
chaud	+3

L'échelle de confort thermique comporte quatre niveaux:

confortable	0
légèrement inconfortable	1
inconfortable	2
très inconfortable	3

C'est l'équipe responsable de l'analyse des caractéristiques fonctionnelles qui décide de la dimension et de la sélection de l'échantillonnage. Le spécialiste en confort thermique devrait toutefois lui faire part des problèmes particuliers qu'il pourrait faire face. Il faudrait s'assurer que l'échantillonnage soit représentatif et en nombre suffisant pour obtenir des réponses statistiquement significatives et des comparaisons entre les diverses

zones du bâtiment (périphériques, intérieures, fermées, ouvertes), les zones desservies par les installations mécaniques, les étages, les niveaux d'activité, les fonctions de même qu'entre les densités d'équipement et de population.

Le questionnaire est distribué à un nombre suffisant et représentatif d'occupants de l'immeuble, afin d'obtenir des réponses statistiquement significatives, que les spécialistes en confort thermique et en étude des caractéristiques fonctionnelles pourront corréler et analyser afin d'être en mesure de comparer les diverses zones du bâtiment, les zones desservies par les installations mécaniques, les étages, les niveaux d'activité, les fonctions de même que les densités de population et d'équipement.

Outre les questionnaires, l'analyse inclut une étude du comportement des occupants. On évalue leurs réactions face à l'ambiance en notant les indices suivants:

1. degré d'habillement des occupants
2. utilisation de ventilateurs ou d'autres appareils de circulation d'air par l'occupant
3. nombre de fumeurs et leurs locations
4. tentatives de contrôle ou de réglage des conditions de l'ambiance par l'occupant

L'équipe chargée de l'évaluation des caractéristiques fonctionnelles peut également remplir une liste d'observations à chaque poste de travail étudié. La liste comporte un espace permettant d'indiquer le degré d'habillement de l'occupant.

LISTE DE CONTRÔLE: DEGRÉS D'HABILLEMENT

Remarque:

Si l'occupant est absent de son poste de travail, ne pas faire de suppositions quant à son niveau de tenue vestimentaire. Signaler sous la rubrique "Remarques" les vêtements (chandails ou vestes) se trouvant dans le bureau, mais ne pas en tenir compte dans l'évaluation. Ne mentionner que les vêtements portés au moment de l'évaluation.

Degré FAIBLE (généralement en été)

- robes légères
- pantalons légers
- chemises ou blouses à manches courtes
- accessoires (veste légère, par exemple)

Degré MOYEN (printemps et automne)

- jupes ou pantalons moyens
- chemises ou blouses à manches longues
- vestes ou chandails légers

Degré ÉLEVÉ (hiver)

- jupes ou pantalons épais et lourds
- chemises ou blouses à manches longues
- vestes ou chandails épais et lourds
- accessoires (bas, chaussures, par exemple)

On peut procéder à des entrevues dirigées et interroger les membres du personnel d'opération et de gestion de l'immeuble pour connaître leurs impressions ainsi que celles des travailleurs concernant les températures, les cycles et les fluctuations de la température, les taux d'humidité, la pureté de l'air, les odeurs et les caractéristiques des systèmes mécaniques susceptibles d'influer sur la température et l'humidité de l'ambiance.

De plus amples renseignements au sujet des outils servant aux analyses d'occupation et d'utilisation des locaux sont donnés dans les cinq documents de classe D:

1. Entrevues centrées
2. Questionnaires
3. Observations
4. Analyse des documents et archives
5. Annotation des plans

3.1.4 Évaluation

Même si, au cours de cette première étape, les diverses phases de l'évaluation peuvent être exécutées séparément, dans la plupart des cas l'étude supposera un enchaînement de certaines d'entre elles, sinon de toutes. Ainsi, par exemple, procède-t-on généralement à une analyse des plans et des archives avant de passer à la revue générale du bâtiment. Une fois l'étude initiale terminée, il faut prendre une décision concernant la suite à donner à l'évaluation et en faire état dans un rapport. On peut choisir de ne pas poursuivre l'analyse, de passer à une autre phase de cette première étape, ou encore de passer à la deuxième ou à la troisième étape de l'évaluation. Si l'on ne poursuit pas l'analyse, le rapport indiquera la cause des problèmes signalés et fournira des choix de solutions précises pour y remédier. Dans certains cas, la mise au point de ces choix nécessitera une étude plus poussée à n'importe laquelle des trois étapes de l'évaluation. À cette étape, de même qu'aux étapes II et III, la solution finale devra être élaborée dans un contexte transdisciplinaire, de préférence avec la collaboration d'une équipe de spécialistes dans les diverses disciplines de la science du bâtiment.

L'analyste étudie les plans et les archives afin de repérer et de définir les problèmes éventuels d'environnement thermique. Il en recherche ensuite les causes et tente de présenter des choix pour la solution possible à ce problème.

À la fin de la revue générale, les observations sont résumées pour chaque local de même que pour l'ensemble du bâtiment. Les données sont ensuite comparées à celles qui figurent dans les archives et à celles fournies par les opérateurs du bâtiment. Les niveaux mesurés sont comparés aux normes. A mesure que les problèmes sont identifiés, il faudrait en trouver les causes et chercher des solutions pour y remédier. Il s'agit là d'un aspect important du processus d'exécution au cours de l'analyse faite sur place.

Lorsque la revue indique que l'ambiance thermique est médiocre, que ce soit de façon absolue, par secteur ou par moment, on procède à une évaluation subjective du bâtiment en le comparant à des bâtiments similaires. On évalue alors s'il y a lieu de faire une étude plus détaillée en fonction de la nature des problèmes décelés et des

solutions proposées au cours de la revue et de l'analyse subséquente des données recueillies.

L'analyse de l'occupation et de l'utilisation des locaux permet au groupe de la science de l'environnement d'obtenir un éventail des réponses aux questionnaires par groupe de travail et par zone de travail, d'établir par ordre de priorité la liste des problèmes liés à l'ambiance signalés par les occupants et par la direction, et de comparer le bâtiment étudié à d'autres bâtiments similaires ayant déjà fait l'objet d'une évaluation. Les réponses devraient être réparties de manière à permettre une évaluation statistiquement significative des caractéristiques du climat intérieur par groupe de travail, par zone délimitée par le système mécanique, par location et étage d'implantation des postes de travail. Les résultats sont comparés à ceux obtenus à l'analyse des plans et des archives et à la revue générale du bâtiment.

Le groupe chargé de l'analyse des caractéristiques fonctionnelles du bâtiment évalue les résultats et ensuite le spécialiste en confort thermique les interprète pour pouvoir les appliquer à son domaine de compétence. Cela permet de donner un aperçu non seulement au niveau de rendement total des immeubles mais aussi de certains aspects spécifiques de performance du bâtiment.

Il faudrait établir, par ordre de priorité, la liste des problèmes d'ambiance signalés par les occupants et par la direction et comparer le bâtiment étudié à d'autres bâtiments similaires ayant déjà fait l'objet d'une évaluation.

3.1.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Une fois tous les documents disponibles rassemblés et centralisés en vue de l'analyse des plans et des archives, l'examen peut habituellement être effectué en un seul jour ouvrable.

A moins que le bâtiment ne compte plus de 25 000 m², deux personnes peuvent généralement procéder à la revue générale en un seul jour. Le jour suivant sera consacré à la rédaction du rapport. Entrevues, rappels et recherches plus approfondies des matériaux existants ne devraient normalement pas prendre plus d'un jour.

L'analyse des plans et des archives, la revue générale du bâtiment et la rédaction du rapport peuvent normalement être effectuées en quatre jours par une équipe de deux personnes.

Le temps consacré à la première étape à l'analyse de l'occupation et de l'utilisation des locaux est fonction du projet et dépend de la portée des travaux et de la taille du bâtiment. La participation du spécialiste en confort thermique à la planification, à l'analyse des plans et des archives, aux consultations et études intermédiaires ainsi qu'à la rédaction du rapport final est généralement limitée à quatre jours ouvrables.

3.1.6 Documentation: établissement et classement des dossiers de travail

Les listes de contrôle utilisées lors de l'analyse des plans et des archives sont classées dans les dossiers du projet, de même que l'ensemble des notes et des rapports.

Les listes d'observations et les notes prises au cours de la revue générale sont également classées.

Le groupe chargé de l'analyse des caractéristiques fonctionnelles conserve les réponses personnelles du questionnaire passé à chacun des postes de travail. Les exigences en matière de documentation sont incluses dans les descriptions techniques d'évaluation du groupe d'analystes des caractéristiques fonctionnelles du bâtiment.

3.2 ÉTAPE II – TECHNIQUES SIMPLES DE MESURE

3.2.1 Description des techniques

Les recherches à l'étape II servent à définir et à résoudre les problèmes de confort thermique sans devoir faire appel à des consultants extérieurs ou au personnel de l'administration centrale. On passe à cette deuxième étape de l'évaluation lorsqu'il n'a pas été possible de cerner le problème et d'en arriver à une solution au cours de la première étape.

La technique d'évaluation à l'étape II devrait permettre de mesurer avec rapidité et précision l'ensemble des paramètres essentiels au maintien d'une ambiance thermique acceptable. On utilise des instruments portatifs pour mesurer pendant une courte période à des endroits sélectionnés l'une ou plusieurs des variables suivantes:

1. la température de l'air (t_a)
2. le taux d'humidité relative (HR)
3. la vitesse de l'air (v)
4. la température opérative (t_o)
5. la valeur moyenne prévue (VMP)

L'évaluation à l'étape II permet d'obtenir plus de mesures des conditions existantes sans toutefois aller en détail ou imposer un contrôle de longue durée. Les essais produits par les instruments de mesure confirmeront la présence d'un problème et permettront bien souvent d'en déterminer la cause.

Les analyses de cette étape peuvent être effectuées par le personnel régional ayant reçu une formation portant sur l'utilisation de l'équipement et les techniques d'évaluation.

3.2.2 Équipement

Une évaluation à l'étape II nécessite l'équipement suivant:

1. Thermo–hygro–anémomètre portatif.
   Le thermo–hygro–anémomètre à affichage numérique, modèle MPM 500, fabriqué par Solomat Inc. convient à cette application. Cet appareil utilise différentes sondes pour mesurer l'humidité, la température, et la vitesse de l'air. Il couvre une zone de perception se situant entre 0% à 80% HR, avec une précision de ±2% à 20°C et de ±3% au–dessus de 80% HR. La zone d'opération se situe entre –20°C à +60°C, la précision du capteur de température est de ±0,3°C en dehors de ces limites d'opération. Le temps de réponse à 63% est de 10 secondes.

2. Crayon fumigène ou détecteur de courants d'air pour déterminer le sens du déplacement de l'air.
Détecteur de courants d'air, modèle CH 216 de Drager. Il s'agit d'une trousse comportant dix tubes détecteurs (CH 25301), une poire de caoutchouc, quatre capuchons de caoutchouc et les instructions d'utilisation.

3. Confortmètre avec trépied pour mesurer la température opérative et la valeur moyenne prévue (VMP).
L'appareil portatif, modèle 1212 de Bruel et Kjaer, est équipé d'un capteur intégré détachable et de blocs-batterie amovible. L'instrument affiche la VMP et la température opérative. Les données à entrer dans l'appareil sont l'indice de résistance thermique des vêtements (clo), le niveau d'activité (met) et le taux d'humidité (HR).

4. Plans d'étages du bâtiment pour enregistrer les facteurs mesurés et leur emplacement.
Les plans devraient être reproduits en sections réduites sur papier de format lettre, illustrant les limites physiques importantes sur un système de quadrillage (de préférence, le système normalisé de numérotage des colonnes du bâtiment).

3.2.3 Démarche détaillée

À l'étape II, l'analyse se fait pendant les heures de travail, alors que les locaux sont normalement occupés et que les systèmes de CVCA sont en régime d'opération normal. Ces conditions sont vérifiées auprès de l'administrateur de l'immeuble ou du préposé à l'opération des systèmes du bâtiment.

Même si le degré d'occupation et les charges de chauffage ou de refroidissement d'un bâtiment donné varient en cours d'année, on procède aux essais à un moment où les conditions sont considérées comme normales. Des essais effectués lorsqu'il fait anormalement chaud en hiver, par exemple, ne seraient pas représentatifs de l'exploitation ou de la performance normale du bâtiment. Si les résultats obtenus à l'étape I indiquent que des problèmes se manifestent sur plusieurs saisons, les essais seront répétés à différentes périodes de l'année s'il n'y a pas eu de solution entre-temps.

Le technicien établit la liste des points d'essais après avoir étudié les dessins et les dossiers de plaintes. Les endroits normalement visés par les essais sont ceux qui font l'objet de plaintes nombreuses et ceux qui comportent d'importantes sources de chaleur ou d'humidité, tels que les cuisines et les locaux de photocopie. Ceux qui présentent peu de problèmes sont inclus dans l'étude à titre de contrôle. Les points de mesure sont répartis dans les zones desservies par des systèmes mécaniques, à divers niveaux et étages du bâtiment. Les espaces physiques particuliers et tous les endroits précisés au cours de l'étape I sont soumis aux essais. Afin de pouvoir faire des comparaisons, on peut également inclure les zones périphériques et intérieures, les espaces ouverts, les locaux fermés de même que les zones à faible et à forte densité de population. Le personnel d'exploitation du bâtiment devrait être consulté pour la sélection des points d'essai. Après avoir déterminé l'emplacement de ces points, il faudrait également consulter les travailleurs occupant ces endroits.

On utilise les plans d'étages pour consigner le moment et l'endroit de la mesure, les valeurs obtenues ainsi que tout autre renseignement supplémentaire tel que vitesse du vent, température extérieure, conditions d'opération des systèmes mécaniques, sources de chaleur ou d'humidité, évidence excessive d'humidité, de chaud ou de froid, et points manifestes d'infiltration d'air.

Les renseignements quant aux conditions d'exploitation des systèmes mécaniques, notamment le fonctionnement ou l'arrêt des ventilateurs de soufflage, d'extraction et de retour d'air, sont obtenus auprès des préposés à l'exploitation du bâtiment. Les données météorologiques nécessaires, c'est-à-dire températures extérieures, vitesse et direction du vent, peuvent être obtenues en communiquant avec le bureau du Service de l'environnement atmosphérique le plus proche.

On utilise le thermo-hygro-anémomètre pour mesurer la température, la vitesse et l'humidité de l'air. Le confortmètre sert à mesurer la température opérative et la VMP. Le manuel du fabricant (référence 3) donne toutes les instructions concernant son utilisation. Les crayons fumigènes permettent d'établir le sens de déplacement de l'air, paramètre nécessaire pour l'analyse et la mesure précise de la vitesse de l'air à l'aide du thermo-hygro-anémomètre.

Le technicien prend des mesures à chaque poste de travail et inscrit les valeurs mesurées ainsi que l'heure du monitorage sur les plans d'étage.

Étant donné que la vapeur d'eau se diffuse uniformément dans l'air, les taux d'humidité ne sont mesurés qu'à un seul endroit dans chaque zone, pour autant que les espaces soient relativement ouverts. Même dans les locaux fermés, la teneur en vapeur d'eau sera équivalente à celle des espaces avoisinants, à moins qu'ils ne contiennent des éléments générateurs ou absorbeurs d'humidité et que ces locaux soient assez étanches (cloisons s'étendant d'une dalle à l'autre et ayant toutes portes fermées, par exemple).

Plus le temps de monitorage sera long, meilleure sera la possibilité de déceler d'éventuelles tendances cycliques. Au cours d'une analyse à l'étape II, toutefois, des contraintes de temps et d'argent limitent normalement les efforts du technicien à un seul jour de travail.

3.2.4 Évaluation

Le processus d'échantillonnage suppose un certain mode d'évaluation dès le départ. Les zones potentielles à problèmes sont retenues, les autres étant considérées comme peu susceptibles d'y constater un inconfort thermique.

Une fois les mesures prises, le technicien analyse les résultats en les comparant aux conditions de confort définies par les normes ASHRAE et ISO. Toutes les tendances ou perceptibles tendances de température dans la VMP et la répartition de l'humidité, reliées à l'emplacement, à l'utilisation du bâtiment, aux systèmes du bâtiment ou aux conditions extérieures sont déterminées et une interprétation de ces tendances et des valeurs mesurées est proposée. La personne qui analyse les plans rédige ensuite un compte rendu clair et concis des résultats et des facteurs d'influence. Il faudrait que les premiers calculs et comparaisons se fassent en même temps que les mesures sur place,

et que les résultats soient enregistrés sur les feuilles de travail regroupant chaque plan d'étage. Le rapport d'étude doit décrire en détail les problèmes liés à l'ambiance thermique identifiés au cours de l'analyse. Ce rapport doit également comporter les résultats de la comparaison avec les normes ASHRAE et ISO. Il devrait conclure en proposant une série d'options visant à résoudre les problèmes soulevés, options qui seront utilisées par l'équipe transdisciplinaire en vue d'arriver à une solution finale fondée sur le rendement total des immeubles. L'une des options peut être une recommandation visant à entreprendre une étude d'étape III.

3.2.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

À l'étape II, les essais dans un bâtiment de 5000 m², à raison d'un seul jeu de lectures prises à un maximum de quinze points d'échantillonnage, devraient être effectués par une seule personne et terminés en une journée de travail. La planification et la préparation des essais devraient prendre une journée. Pour l'annotation du plan d'étage et la rédaction du rapport, il faudrait compter un jour et demi, ce qui correspondrait en tout à $3^1/_2$ journées-personnes.

3.2.6 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Les plans d'étages annotés et le sommaire doivent être classés dans les dossiers du projet, de même que le rapport global qui aura été rédigé une fois la collecte des données et la comparaison entre les divers emplacements terminées.

3.3 ÉTAPE III – MONITORAGE DÉTAILLÉ ET SPÉCIALISÉ

3.3.1 Description des techniques

À l'étape III, l'analyse de l'ambiance thermique consiste à:

1. étudier les problèmes non résolus au cours des deux premières étapes de l'investigation, en recourant à une analyse plus approfondie et échelonnée sur une période plus longue;
2. comparer les conditions existantes aux spécifications des normes ASHRAE 55-1981 et ISO 7730;
3. analyser les résultats des mesures pour déterminer l'importance et la cause de l'inconfort thermique;
4. comparer les mesures physiques aux réponses des occupants et tenter d'expliquer les divergences;
5. proposer des options détaillées en vue d'améliorer l'ambiance thermique à l'intérieur du bâtiment.

Avant de passer aux travaux de l'étape III, on examine les résultats obtenus au cours des deux étapes précédentes.

Outre les données rassemblées par d'autres mais celles utilisées pour l'évaluation, on peut recourir à deux modes de collecte des données. Le premier consiste à mesurer de manière détaillée et à enregistrer les conditions thermales actuelles existant de l'étape III à certains postes de travail sélectionnés. On utilise pour ce faire les

confortmètres montés sur trépied, un thermomètre à affichage numérique à plusieurs voies et des instruments portatifs afin de mesurer tous les paramètres influençant le confort thermique. Les mesures sont prises à divers endroits, mais seulement à un ou deux points à la fois. Parallèlement, des hygrothermographes enregistrent la température et le taux d'humidité sur une période de 24 heures. Le second mode consiste à collecter un nombre de paramètres sur une période prolongée. Cela suppose le recours à un système électronique de saisie de données ou à un enregistreur graphique couplé au reste de l'appareillage permettant de mesurer à un nombre restreint d'endroits sélectionnés les paramètres sur une période allant de une à quatre semaines. Les deux modes de collecte sont expliqués en détail à la section 3.3.3.

Chacune des méthodes permet d'aboutir à des conclusions valables. Il peut parfois s'avérer profitable de combiner les deux. C'est le technicien qui devra considérer l'intention et le but de l'étude en tenant compte du temps, de l'équipement et des coûts qu'elle implique. Dans certains cas, il sera plus important d'effectuer un contrôle sur de longues périodes que de prendre des mesures à plusieurs postes de travail différents, ou vice versa. On se servira des rapports antérieurs et des renseignements obtenus auprès des préposés à l'exploitation du bâtiment pour déterminer la méthode à adopter.

3.3.2 Équipement

	INSTRUMENT	FONCTION
1.	thermomètre portatif à affichage numérique avec capteurs de température de l'air et de température de surface	mesurer la température de l'air ambiant, de l'air de soufflage et des surfaces avoisinantes
2.	thermomètre à sphère	mesurer la température à sphère et permettre le calcul de la température moyenne radiante
3.	hygrothermographe, avec diagrammes et plumes indicatrices	mesurer et enregistrer le taux d'humidité relative, la température de l'air, et la vitesse de variation de ces deux paramètres
4.	hygromètre portatif	mesurer le taux d'humidité relative
5.	thermomètre à affichage numérique à plusieurs voies	mesurer la température de l'air à divers niveaux en même temps
6.	thermo–anémomètre	mesurer la vitesse de l'air
7.	appareil d'équilibrage de réseau d'air	mesurer le débit d'air de soufflage aux diffuseurs des systèmes de CVCA
8.	détecteur de courants d'air (crayon fumigène)	déterminer le sens de déplacement de l'air

	INSTRUMENT	FONCTION
9.	micro–ordinateur avec saisie et stockage de données	de mesurer et enregistrer température, humidité et autres paramètres
10.	thermocouples sur supports	de capter la température de l'air à divers niveaux en même temps
11.	manomètre avec adaptateur pour thermostat	vérifier et enregistrer la pression statique d'approvisionnement et de rendement
12.	capteurs et enregistreurs d'humidité relative	à utiliser avec le système de saisie de données
13.	thermocouples	à utiliser avec le système de saisie de données
14.	plans d'étages du bâtiment	utilisés pour indiquer l'emplacement des instruments et des points de mesure, et toute autre donnée pertinente
15.	confortmètre	mesurer la VMP et le PPI
16.	enregistreur graphique	enregistrer les valeurs captées (signaux de sortie) par le confortmètre
17.	clés pour thermostat	enlever les couvercles du thermostat

Le nombre d'instruments de chaque type requis dépendra de l'ampleur de l'analyse ainsi que du nombre de techniciens et du temps disponibles. Il faut de plus prévoir bon nombre de petits outils et accessoires pour entretenir, ajuster et installer les instruments de mesure.

Élément 1: Thermomètre à affichage numérique, à résistance de platine, modèle 264–2 de Newport Laboratory, avec sondes interchangeables de température d'air et de température de surface. La plage de mesure est de –200°C à +200°C. La précision annoncée est de ±0,3°C avec une résolution de 0,1°C.

Élément 2: Thermomètre à globe noir de 150 mm de diamètre, de C.F. Castella and Co. Il comporte normalement un thermomètre au mercure, mais on remplace celui–ci par un thermocouple de telle façon que la pointe du capteur se trouve au centre du globe. L'extrémité est scellée pour éviter les fuites d'air chaud.

Élément 3: On peut utiliser un instrument à cycle de mesure de 7 jours, avec plumes à pointes de feutre et éléments hygrométriques en plastique, modèle 620 de Enercop Instruments Limited. La précision annoncée est ±1% de toute la plage de mesure de la température et de ±3% de la plage de mesure de l'humidité.

Élément 4: L'instrument préconisé est un thermo–hygromètre, à affichage numérique, comportant un capteur d'humidité à fine pelliculecapacitive. L'échelle de sensibilité est de 0% à 100% HR. La précision est ±2% HR de 0% à 80% à 20°C, ±3% HR au–dessus de 80% HR, et ±0,3°C sur la plage de mesures de la température qui va de –20°C à

+60°C, avec 63% des temps de réponse de 10 secondes. L'instrument HM–31 de Vaisala Inc. répond à ces exigences.

Élément 5: On recommande un thermomètre Fluke 2100A ou l'équivalent, avec temps de réponse de moins de 0,1 seconde. L'erreur maximale est de 0,6°C. Le thermomètre comporte 6 paires de thermocouples branchés sur une fiche à jack spéciale. La numérotation et le câblage sont tels que les numéros de voies sur le thermomètre correspondent aux étiquettes sur les supports des thermocouples (voir élément 10). Un bloc–batterie est disponible pour utiliser avec le thermomètre.

Élément 6: L'anémomètre portatif doit être précis à des vitesses de mouvement d'air normales pour un local i.e. des vitesses de 0,05 m/s à 0,50 m/s. Il n'est pas facile d'obtenir des mesures précises lorsque la vitesse de l'air est inférieure à 0,05 m/s; ces mesures sont facilement faussées par des influences mineures tel que la présence du technicien sur les lieux du mesurage. Le Service d'évaluation du rendement des immeubles utilise le modèle 1440–M de Kurz.

Élément 7: On recommande l'appareil de type vélomètre, de Shortridge Instruments ou l'équivalent, équipé de volets destinés à mesurer les faibles débits de 12–140 L/s. La précision est de ±3% sur toute l'étendue des valeurs mesurées.

Élément 8: Le Service d'évaluation de la performance des bâtiments utilise la trousse de détection des courants d'air de Drager ou de Gastec. Les instructions du fabricant concernant l'élimination des tubes sont disponibles car ces tubes doivent être neutralisés avant d'être jetés.

Élément 9: On utilise le système de mesure et de contrôle CR–7 de Campbell Scientific. Il s'agit d'un système modulaire programmable, fonctionnant sur batterie, permettant de prélever et d'enregistrer les données prises par la plupart des types de capteurs. On utilise un magnétophone à cassettes pour le stockage des données.

Élément 10: Chaque support repliable comporte 4 thermocouples, placés horizontalement à 75 mm du support, à des hauteurs de 1700, 1100, 600 et 100 mm, et numérotés de 1 à 4. Un thermomètre à globe est fixé à chaque support et relié au thermocouple 5. Sous la base de chaque support se trouve un thermocouple 6, bien en contact avec la surface du plancher. Chaque support est numéroté. Chacun des 6 thermocouples est relié à un panneau de jacks à 6 voies monté sur la base du support.

Élément 12: On utilise le capteur d'humidité, modèle 201 de Campbell Scientific Corporation, qui comporte à la fois un capteur et une thermistance assurant la compensation de température. Combiné à un enregistreur automatique CR–7, il a une précision de ±4% HR, entre 10% et 100% HR mesurée.

On utilise l'hygromètre, de modèle SA–760–A de Hy–Cal Engineering avec le capteur d'humidité de modèle HS–3552–B. Il s'agit d'un système complet d'amplification à affichage numérique, avec sortie analogique standard et option de sortie en numération décimale binaire. La précision du capteur est de ±2% sur la plage de mesure allant de 15% à 40% HR, et de ±6% en–dehors de cette plage.

Élément 13: On utilise des thermocouples de type T.

Élément 14: Plans d'étages du bâtiment. Les plans devraient être réduits par parties, sur feuilles de format lettre, montrant les principales limites physiques à l'aide d'un système de quadrillage (de préférence, le système normalisé de numérotation des colonnes du bâtiment).

Élément 15: Le confortmètre, modèle 1212 de Bruel et Kjaer est un instrument portatif qui mesure les effets de l'ambiance sur le confort en simulant le processus d'équilibrage thermique du corps humain (référence 3). Il comporte un capteur détachable et un bloc de batterie amovible. L'instrument affiche et imprime le VMP, le PPI et la température opérative. Les données concernant le degré d'habillement, le niveau d'activité et le taux d'humidité sont entrées au moyen des cadrans se trouvant sur la partie antérieure de l'instrument.

Élément 16: L'enregistreur graphique portatif, type 2306 de Bruel et Kjaer, est compatible avec le confortmètre et donne un graphique imprimé sur papier gradué permettant de lire le VMP directement.

3.3.3 Démarche détaillée

On entreprendra une étude à l'Étape III en fonction des résultats obtenus au cours des deux premières étapes. Les secteurs à problèmes cernés précédemment sont réévalués dans le cadre d'une analyse approfondie.

Cette analyse approfondie est effectuée avec un taux normal d'occupation du bâtiment et tous les systèmes de CVCA en mode normal d'exploitation. Bien que les taux d'occupation et les charges de chauffage ou de refroidissement pour un bâtiment particulier varient au cours d'une année, les essais sont exécutés lorsque les conditions sont considérées comme normales pour l'époque de l'année.

La méthode décrite ici tente de couvrir tous les facteurs influençant directement le confort thermique. Il faudra la modifier pour l'adapter aux exigences d'un essai particulier. Si, par exemple, les études précédentes ont conclu qu'il s'agissait d'un problème de régulation de l'humidité, l'essai approfondi décrit ici devrait être adapté et axé sur les taux d'humidité et sur les conditions affectant ces derniers.

3.3.3.1 Démarches préliminaires

Les plans d'étages du bâtiment sur lesquels sont indiqués l'utilisation des espaces et l'emplacement des postes de travail et de l'équipement, sont étudiés en vue d'établir de quelle manière procéder à l'échantillonnage. Les critères qu'il faut prendre en considération sont les suivants:

1. proximité de l'enveloppe extérieure, y compris les angles et jonctions avec les murs extérieurs;
2. orientation, en fonction des élévations importantes du bâtiment;
3. proximité d'équipement générateur de chaleur (concentrations de charges thermiques);

4. différences dans les niveaux d'activité;
5. variations dans les températures des surfaces avoisinantes influençant le rayonnement thermique;
6. zones desservies par les installations mécaniques;
7. type d'aménagement (ouvert ou fermé, avec écrans ou avec cloisons);
8. numéro d'étage des postes de travail;
9. surplombs du bâtiment;
10. attention aux plaintes déterminées au cours de l'Étape I.

Il n'est évidemment pas question de fonder la sélection sur toutes les combinaisons possibles de ces 10 facteurs. Il faudrait prévoir au moins un échantillon de chaque ensemble de caractéristiques différentes des postes de travail pouvant influencer le climat intérieur et, par conséquent, le confort thermique des occupants. Au cours du processus de sélection, on commencera premièrement par supprimer les répétitions d'ensemble de caractéristiques puis les secteurs considérés comme moins importants en raison de leur faible taux d'occupation, et finalement, les zones où les paramètres différenciateurs n'ont pas beaucoup d'influence sur le confort ou ont un effet équivalent à celui d'un autre ensemble de caractéristiques. Il ne faut pas non plus, dans le processus de sélection, perdre de vue le nombre de travailleurs qui occupent des espaces ayant les mêmes caractéristiques. Un type de poste de travail utilisé par 80% de la population d'un bâtiment, par exemple, nécessitera plus d'attention que celui qui n'est utilisé que par 1% des occupants, du moins jusqu'à ce que les conditions réelles soient déterminées. Le rapport coûts/avantages est en effet meilleur lorsque l'étude préliminaire vise les conditions les plus répandues.

Outre les emplacements retenus en fonction des critères énumérés ci–dessus, on pourra en choisir d'autres, à savoir des secteurs particuliers qui peuvent ou non contenir des postes de travail, mais dans lesquels il y a des employés qui y travaillent ou viennent s'y détendre. Le nombre de ces emplacements dépendra du nombre total d'emplacements qu'on estime pouvoir étudier, compte tenu des contraintes de temps et de coûts, moins le nombre d'emplacements considérés comme représentatifs de groupes de postes de travail.

À son arrivée, le technicien fait le tour du bâtiment et identifie les emplacements proposés pour les essais. Il en dresse la liste et leur attribue des numéros d'identification, composés du numéro d'étage, de celui du secteur de l'étage et de celui du bureau au sein de ce secteur.

Les températures liées à l'emplacement du bâtiment lors de la conception doivent être connues pour pouvoir calculer les conditions de l'essai prescrites par ASHRAE. Il s'agit de la moitié de la différence entre les conditions intérieures et 25% de la température de conception. À titre d'exemple, à Winnipeg pendant la saison de chauffage, 25% de la température de conception en janvier est de −31 °C. Si la température intérieure est de 23 °C, la condition d'essai prescrite est une température extérieure maximale de −4 °C pour des conditions de ciel nuageux à partiellement nuageux. Si les conditions extérieures requises ne correspondent pas aux prescriptions, l'essai peut être effectué malgré tout, mais la conformité à la norme ne peut faire partie des conclusions. Les conditions peuvent quand même être comparées à celles indiquées comme nécessaires pour le confort, et des recommandations peuvent être faites.

Les données climatiques doivent être recueillies pendant toute la durée de l'essai, particulièrement celles qui concernent la température extérieure, l'humidité relative et les conditions du ciel. La vitesse et la direction du vent devraient également être notées (référence 16).

3.3.3.2 Mesure détaillée à des moments déterminés

Installer les supports du thermocouple aux emplacements des essais initiaux. Placer chaque support aussi près que possible de l'endroit occupé par le travailleur sans toutefois entraver les mouvements de celui–ci ni risquer d'endommager l'équipement.

Ajuster les thermomètres à sphère à la bonne hauteur sur chaque support (600 mm si l'activité est de nature sédentaire, 1100 mm si elle ne l'est pas). Répartir les hygrothermographes au centre des zones asservies par thermostat dans lesquelles les supports de thermocouple sont installés. Indiquer la position des supports et des hygrothermographes sur les plans d'étages. Vérifier le bon fonctionnement de chacun des hygrothermographes à chacun des jours de la période de mesure.

Deux techniciens se rendent au premier poste de travail, et remplissent la partie générale de la fiche de données (Tableau 3.3.1), soit la date, le numéro de désignation du poste de travail, l'étage, l'emplacement, l'heure de début de l'essai et les initiales des techniciens. Ils indiquent également le type de poste de travail, le degré d'habillement et le niveau d'activité, si possible.

On déplace les instruments de contrôle d'un poste à l'autre sur un chariot. On utilise le thermomètre Fluke pour prendre une première série de lectures sur le thermocouple, qui sont enregistrées sur la fiche de données.

La hauteur d'installation du thermomètre à sphère encerclée sur la fiche de données. Lorsqu'on déplace les thermomètres à sphère dans de nouvelles locations, il faudrait leur laisser le temps de se stabiliser pendant au moins vingt minutes avant de prendre les lectures.

À l'aide d'un crayon fumigène utilisé conjointement avec un anémomètre pour mesure de faibles vitesses, enregistrer le sens d'écoulement et la vitesse de l'air pour chacune des quatre hauteurs de thermocouple. On indique le sens d'écoulement dans le plan horizontal à l'aide des points cardinaux. Le sens dans le plan vertical est défini par l'angle d'écoulement exprimé en degrés (positif au–dessus du plan horizontal, et négatif au–dessous du plan horizontal). Si le sens d'écoulement varie, l'indiquer à l'aide d'un cercle. On mesure la vitesse de l'air au moyen de l'anémomètre à affichage numérique.

Mesurer la température au plafond avec le capteur de température de surface. Si le poste de travail comporte des différents types ou hauteurs de plafonds, mesurer la température à chaque endroit différent.

Relever le taux d'humidité relative sur l'hygrothermographe dans la même zone contrôlée par le thermostat. Vérifier la valeur relevée à l'aide de l'hygromètre portatif.

Localiser les thermostats contrôlant la zone faisant l'objet des essais et indiquer leur emplacement sur le plan. Noter les points de consigne de même que les températures affichées par le thermostat.

À l'aide d'un thermo–anémomètre ou d'un appareil d'équilibrage du réseau d'air, mesurer le débit d'air à la sortie des diffuseurs les plus proches afin de pouvoir définir le mode d'opération du système de CVCA. Utiliser le thermo–anémomètre avec précaution, car les lectures sont influencées par l'angle entre le sens du débit maximal et la sonde de l'anémomètre. Il faudrait faire varier l'angle jusqu'à ce qu'on obtienne des valeurs maximales, et adopter ensuite la même position pour chaque diffuseur afin de pouvoir utiliser valablement les données de calibrage du fabricant. Si les débits varient pendant la prise de mesure, il faudrait le mentionner et, si l'on dispose de suffisamment de temps, prendre une seconde série de mesures dans les nouvelles conditions. L'appareillage d'équilibrage du réseau d'air ou la hotte de passage d'air est le plus facile des équipements à utiliser et permettra d'obtenir une lecture directe du flux si pour autant on réalise une bonne étanchéité entre le dessus de la hotte et le pourtour du diffuseur (s'il s'agit de diffuseurs plafonniers). Dans le cas d'un système de volume d'air variable (VAV), régler le thermostat pour obtenir un débit de soufflage maximal, puis reprendre les mesures et enregistrer les résultats. Remettre le thermostat à son ajustement initial.

Si les diffuseurs soufflent l'air sur le poste de travail, mesurer la température de cet air en plaçant la sonde du thermomètre dans l'ouverture du diffuseur et attendre que la température se stabilise. Veiller à ce que la pointe de la sonde ne soit en contact avec aucune surface et qu'elle se trouve dans la trajectoire de l'air de soufflage.

Mesurer l'asymétrie de la température radiante à chacun des postes de travail où l'on soupçonne que cette condition affecte l'occupant. Ce problème se manifeste normalement qu'aux postes de travail situés en périphérie du bâtiment comportant de grandes surfaces extérieures vitrées (plus de 75%). Faire un croquis en indiquant l'orientation du poste de travail et de son occupant par rapport aux éléments avoisinants ainsi que leur distance par rapport à ces éléments. À l'aide de la sonde de température de surface, déterminer ensuite la température de ces éléments. Noter les valeurs obtenues ainsi que les conditions prévalant à ce moment–là, c'est–à–dire si une section a exposition directe ou non aux rayons du soleil, s'il y a présence de tentures, rideaux ou stores et s'ils ont déjà été utilisées.

Prendre note de toute condition particulière décelée au poste de travail ou au sein d'une zone contrôlée par le thermostat, notamment diffuseurs bloqués ou scellés par du ruban, thermostats se trouvant en dehors de la zone qu'ils contrôlent, salles d'attente et de réunion. Noter également les appareils de chauffage d'appoint, ventilateurs, humidificateurs, etc. installés par l'occupant et indiquer s'ils fonctionnent au moment où les mesures sont prises. Noter les commentaires des occupants des postes de travail soumis aux essais de même que ceux de leurs voisins.

Prendre ensuite une seconde série de lectures au thermocouple, indiquer l'heure de la fin de l'essai et passer au poste de travail suivant.

Si possible, soumettre chaque poste de travail à deux échantillonnages, le premier dans la matinée, le second dans l'après–midi.

Un exemple de la fiche de collecte des données utilisée pour cet essai est donné ci–après.

FICHE DE DONNÉES SUR LE CONFORT THERMIQUE

Bâtiment: _____ Date: __-__-__
Début: h __:__ Fin: h __:__ Techniciens: _____

Poste: _____ Étage: _____ Emplacement: _____
périphérie _____ intérieur _____ zone système mécanique_____
Activité: inconnue _____ sédentaire _____ non sédentaire _____ mixte _____
Degré d'habillement: inconnu _____ faible _____ moyen _____ élevé _____

Lectures du thermocouple et le sens d'écoulement de l'air

voie	niveau	t° bulbe sec		sens d'écoulement d'air
1	1700 mm	____ °C	____ °C	horiz. ____ vert. ____
2	1600 mm	____ °C	____ °C	horiz. ____ vert. ____
3	600 mm	____ °C	____ °C	horiz. ____ vert. ____
4	100 mm	____ °C	____ °C	horiz. ____ vert. ____
5		T_s: ____ °C	____ °C	
6		T° plancher: ____ °C	____ °C	

Vitesse de l'air

100 mm;	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s
600 mm;	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s
1100 mm;	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s
1700 mm;	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s	____ m/s

Hauteur du thermomètre à sphère (600 mm ____ 1100 mm ____) N° support: _____
T° plafond: ____ °C T° lentille luminaire: ____ °C

Humidité de la zone: hygrothermographe ____ % sonde d'humidité ____ %

Débit ou pression du diffuseur (unités_____): 1._____ 2._____ 3._____ 4._____
T° de l'air du diffuseur (°C): 1._____ 2._____
Point de consigne du thermostat: ____ °C Affichage du thermostat: ____ °C

Mesures d'Asymétrie radiante (Croquis et points de référence au verso):

T° fenêtres:	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C
T° mur extérieur:	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C
T° mur intérieur:	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C
Autres t° :	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C	Pt. __,____°C

Sources de réflexion ou d'absorption de chaleur radiante: indiquer emplacement, dimensions, composition, température de surface et orientation (croquis au verso).

Conditions particulières et commentaires (continuer au verso si nécessaire; inscrire ici toutes autres lectures de pression au diffuseur).

Indiquer chaque poste de travail sur le plan d'étage. Y indiquer également le sens d'écoulement de l'air, de même que l'emplacement des diffuseurs les plus proches, du thermostat auquel la zone est contrôlée et des sources de chaleur radiante.

Tableau 3.3.1: Fiche de données sur le confort thermique

3.3.3.3 Contrôle à moyen terme

L'utilisation de l'enregistreur graphique ou du système de saisie de données dépend de la disponibilité de l'équipement, du nombre d'emplacements à soumettre aux essais, de la durée des essais et de la possibilité d'essais simultanés.

Si un seul emplacement doit être contrôlé pendant un jour ou deux, il est recommandé d'utiliser l'enregistreur, à moins que le système de saisie des données serve déjà pour un autre essai. L'enregistreur est facile d'accès de l'endroit où les mesures doivent être prises et a la capacité requise pour recevoir les données supplémentaires.

Si l'essai doit se dérouler sur plus d'une semaine, il faudrait utiliser le système de saisie des données.

Lorsqu'on se sert du système de saisie des données, installer les thermocouples de type T au poste de travail et les connecter au système. Placer les thermocouples de façon à enregistrer les températures ambiantes, les températures de l'air de soufflage, des parois, des vitrages, de la dalle et de l'air de retour, et à détecter si le système de chauffage fonctionne. Connecter les capteurs et indicateurs hygrométriques pour permettre au système de saisie d'enregistrer les valeurs mesurées.

Le système CR–7 de Campbell Scientific a une capacité installée de 56 mesures doubles. Il peut être programmé pour collecter les données captées par divers types de capteurs, avec vitesses de fréquence de balayage réglables pour chaque capteur. Les données sont normalement enregistrées sur cassette audio par le biais d'un câble de liaison au magnétophone à cassettes compatible avec le système.

La programmation du CR–7 est relativement simple et se fait au moyen d'une feuille–guide. Étant donné que la configuration des capteurs variera pour chaque étude, un programme unique ne conviendra pas. Il faut tenir compte des différences de chaque installation. Les vitesses d'exploration dans le cas de mesure des températures devrait être comprise entre cinq et quinze minutes, bien que la période de contrôle et le temps d'exploration doivent être adaptés aux besoins propres à chaque essai.

Lorsqu'on utilise l'enregistreur graphique relié au confortmètre, installer l'instrument, le trépied et l'enregistreur conformément aux instructions du fabricant. L'enregistreur notera la VMP. (Si le confortmètre est raccordé au système de saisie des données, la VMP sera enregistrée, et on aura l'option d'enregistrer la température de confort et le paramètre affiché.)

Relever les taux d'humidité à l'aide de l'hygromètre portatif, et noter les degrés d'habillement et les niveaux d'activité. Entrer les valeurs appropriées pour chaque paramètre dans le confortmètre en se fondant sur la feuille–guide fournie. Mettre les systèmes en marche pour obtenir un enregistrement graphique, ou un enregistrement magnétique après avoir programmé le CR–7.

Vérifier les instruments et les réglages tous les jours. Au besoin, modifier les réglages du confortmètre concernant le degré d'habillement, le niveau d'activité et le taux d'humidité, et noter les ajustements effectués. Si l'on utilise l'enregistreur graphique,

noter les réglages, la date, l'heure et l'emplacement sur la bande papier. Si l'on utilise le système de saisie des données, noter cette même information sur une fiche de données.

Indiquer les conditions extérieures, les conditions d'exploitation, les dates et heures des essais de même que l'emplacement des instruments sur les plans d'étages du bâtiment.

3.3.4 Évaluation

La fiche de données sur le confort thermique est conçue de manière à permettre la comparaison avec la norme ASHRAE. Grâce au programme informatique TCIN2, les données sont entrées dans les dispositifs de stockage du micro–ordinateur HP–85. Un autre programme, le TCASH2, manipule les données pour chaque emplacement de mesure et les compare aux limites indiquées par la norme ASHRAE. Il fournit la liste des emplacements où les valeurs sont hors limites ainsi que les facteurs responsables. L'asymétrie radiante doit être calculée séparément, d'après la méthode expliquée dans la norme ASHRAE 55–1981. Ces calculs ne doivent être pris en considération seulement si les différences de températures sont supérieures à 5°C dans le cas des surfaces horizontales ou de 10°C ou plus dans le cas des surfaces verticales.

Chaque diagramme fourni par les hygrothermographes est scruté visuellement (voir figure 3.3.1). On peut déterminer les températures et les taux d'humidité maxima et minima pour chaque emplacement. L'humidité relative moyenne et la température moyenne sont également évaluées et enregistrées. En scrutant les diagrammes, les cycles de températures et de taux d'humidité sont repérés et enregistrés.

Les diagrammes des hygrothermographes doivent être scrutés visuellement (voir figure 3.3.2). La VMP maximale et minimale indiquées sur chaque diagramme pour chaque jour doivent être notées. Les résultats donnés par chaque diagramme pour chaque emplacement sont repris sous forme de tableau, et les maximum et minimum globaux pour chaque emplacement y sont également indiqués. Les estimations quant au VMP moyen doivent être enregistrées. A l'examen des diagrammes, les cycles de VMP devraient être repérés et enregistrés. Cette analyse ainsi que celle décrite ci–après doivent couvrir la période d'une heure qui précède l'arrivée des occupants et la période de pleine occupation des locaux.

Les données obtenues sur le système de saisie de données et enregistrées sur cassettes sont transférées à l'ordinateur principal. Un programme désigné C20 fournit les valeurs maximales, minimales et moyennes pour les capteurs et les temps requis, et compare les données d'un capteur à l'autre.

L'évaluation en tant que telle consiste à faire de nombreuses comparaisons et vise à valider les tendances de performance perçues. Les données sont étudiées pour vérifier si les zones à problèmes (c'est–à–dire où les conditions sont en–dehors des limites de la norme) peuvent être reliées aux séparations physiques du bâtiment.

Les conditions climatiques extérieures moyennes journalières pour la période d'essai doivent être consignées, notamment la température de l'air, la vitesse du vent et le taux d'humidité relative. Les résultats des vérifications faites en rapport avec les systèmes de CVCA et leurs contrôles sont incorporés ici, de même que les résultats des essais sur la circulation et la distribution de l'air, les installations mécaniques et la qualité de l'air. L'étude des caractéristiques fonctionnelles, le cas échéant, devrait être intégrée à tous les aspects de l'évaluation.

L'évaluation et le rapport subséquent devraient comporter des sections distinctes concernant les points suivants:

1. Niveaux d'activité. Les niveaux observés sont enregistrés et comparés aux normes, et les répercussions des écarts par rapport à celles–ci sont discutées.

2. Degrés d'habillement. Les degrés d'habillement observés sont résumés, enregistrés et comparés à ceux considérés comme typiques; les écarts sont notés, incluant les distinctions par rapport au sexe, et leurs répercussions sont discutées.

3. Températures de l'air. Les températures maximales, minimales et moyennes doivent être calculées et comparées pour la durée de l'essai; les températures prises durant les heures d'occupation journalière, étage par étage, zones périphériques et intérieures, ansi que les températures du côté nord et sud du bâtiment et cela le matin et l'après–midi. Tous résultats se rapportant aux études sur la température captée de l'air intérieur du bâtiment doivent être discutés ici. Si d'autres visites sur place ont eu lieu, les résultats obtenus doivent être comparés et discutés.

   Comparer les températures de l'air des zones à forte densité de population ou d'équipement à celles des zones à faible densité de population ou d'équipement. Les aires ainsi concernés doivent être séparées et leurs données comparées aux niveux globaux du bâtiment. Inclure les commentaires concernant ces comparaisons et leurs implications, et notamment celles qui touchent les systèmes mécaniques et leur régulation.

   Le cas échéant, vérifier si les diagrammes produits par les hygrothermographes et les fichiers de données électroniques décèlent la présence de tendances cycliques marquées et fournir des explications à cet égard. Les écarts de température dans le plan vertical doivent être signalés et commentés ici de la même façon que celle indiquée ci–dessus pour la température de l'air.

4. Température radiante. Cette section doit comporter deux volets de discussion. Le premier concerne les résultats des mesures de la température moyenne radiante, incluant les moyennes et les comparaisons avec les températures de l'air, la cause et les répercussions des écarts excessifs. Le second couvre l'aspect asymétrie radiante de la norme et porte sur la mesure des pertes et gains de chaleur radiante des côtés opposés du corps. Ici encore, les causes des écarts hors limites doivent être données.

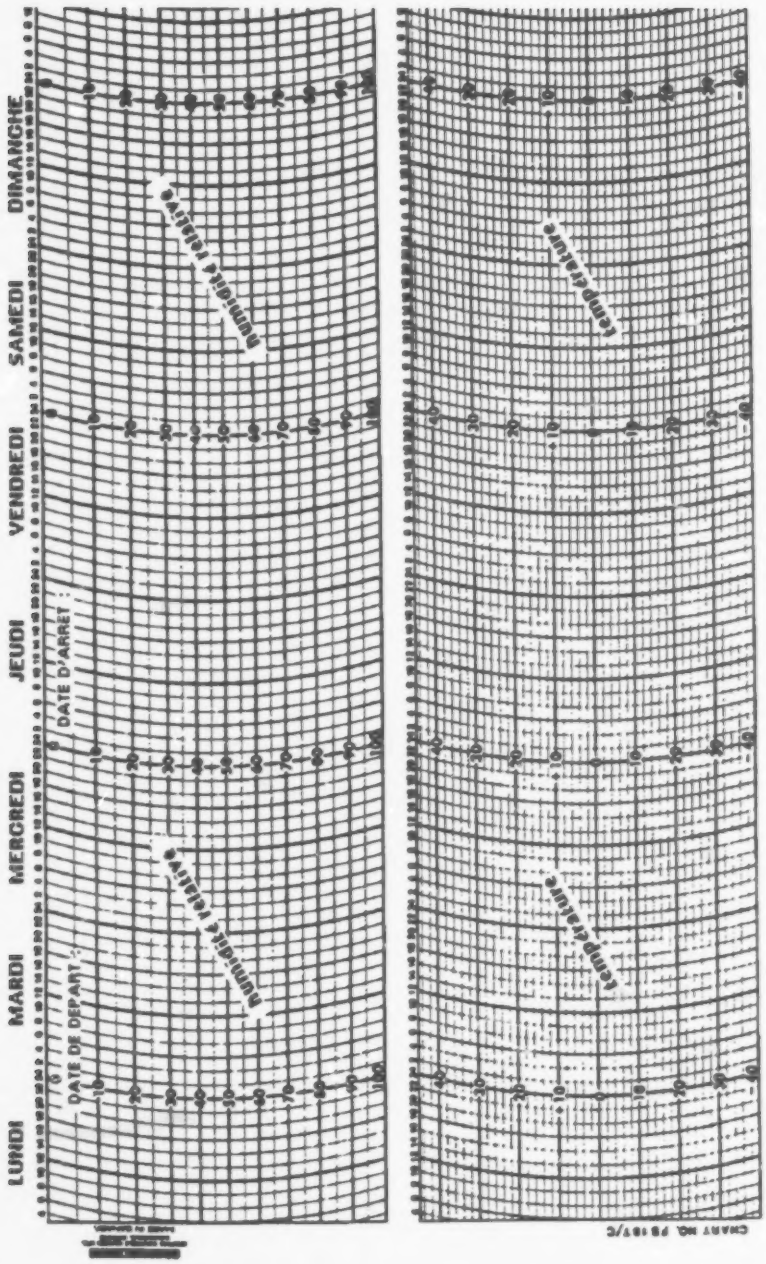

Figure 3.3.1: Diagramme d'hygrothermographe

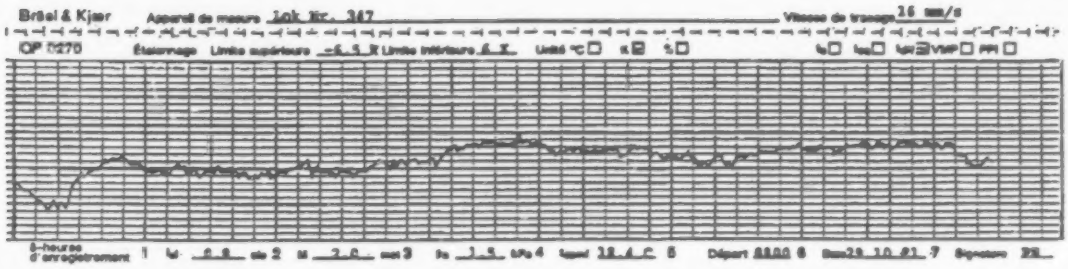

Figure 3.3.2: Exemple de tracé obtenu sur enregistreur de type 2306

5. Vitesse de l'air. Les moyennes doivent être enregistrées et discutées. Les valeurs dépassant celles recommandées doivent être examinées afin de déterminer s'il s'en dégage une tendance en matière d'emplacement, d'orientation, de hauteur, de zone desservie ou d'élévation. Tous les résultats obtenus aux autres essais – notamment ceux qui intéressent les réseaux de circulation et de distribution d'air et les installations mécaniques – doivent être utilisés.

6. Humidité. Les taux moyens doivent être indiqués et comparés à la norme. Tous les écarts par rapport à celle–ci doivent être notés. Les résultats des autres essais doivent être présentés et commentés ici également. Il faudrait, si possible, indiquer les variations saisonnières et, le cas échéant, les conséquences de modifications éventuelles dans la population du bâtiment.

7. Température opérative. On procède aux mêmes types de comparaisons que pour la température de l'air. Aborder les résultats de manière à pouvoir éventuellement dégager des relations et des tendances. Les comparaisons avec les limites indiquées par la norme incluant le mouvement cyclique, la tendance à toute déviation, et présence de talus constituent la plus grande partie de cette section.

8. Températures des planchers. Elles sont enregistrées et comparées de la même façon que les températures de l'air. Des comparaisons avec la norme ASHRAE 55–1981 doivent être faites.

9. VMP. Les moyennes, les maxima et minima doivent être comparés à la norme ISO. Les cycles doivent être notés de même que les variations qui coïncident avec le bâtiment, la zone ou les limites d'exploitation.

Tous les paramètres tombant en–dehors des limites prescrites doivent être examinés afin de déterminer s'il y a une tendance de non–conformité. Cet exercice doit tirer parti des résultats disponibles de toutes les techniques d'évaluation.

Il faudrait prévoir une section récapitulative permettant au lecteur d'avoir une impression générale de la performance du bâtiment en matière de confort thermique tenant compte des exigences. Cette section devrait également indiquer le degré de conformité à la norme ASHRAE et présenter des commentaires concernant l'importance relative de chaque paramètre évalué.

Les résultats de toute analyse de climat intérieur doivent être accompagnés de plans d'étages montrant l'emplacement des points de mesure ainsi que d'un tableau reprenant la liste de ces emplacements avec les valeurs correspondantes des facteurs environnementaux mesurés. Il faut également prévoir une façon d'indiquer si ces valeurs tombent à l'intérieur ou en-dehors des limites de confort thermique établies par la norme ASHRAE.

Les résultats des autres techniques d'évaluation sont inclus s'ils sont disponibles. Parmi les plus importants, citons ceux qui se rapportent à la détermination de la précision des capteurs de contrôle, aux essais des systèmes mécaniques, à l'évaluation de la ventilation et des fuites d'air, et au contrôle de l'environnement extérieur. Les procédures des évaluations suggérées peuvent être retrouvées dans les autres documents de classe D de cette série.

Le rapport devrait présenter une liste de mesures permettant possiblement de corriger les problèmes décelés. Cette liste sera utilisée par une équipe transdisciplinaire. Les options seront évaluées en fonction de leurs conséquences respectives sur le rendement total du bâtiment.

3.3.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Si l'on utilise un confortmètre avec un enregistreur graphique, il faut prévoir une demi-heure pour la mise en place de l'équipement à chaque emplacement. Si l'on utilise le système de saisie des données, on évalue à une heure le temps nécessaire à la mise en place. Il faudrait réserver un jour pour la préparation, le conditionnement, l'emballage, l'expédition et la vérification de l'équipement. Le câblage et la mise en place des supports du confortmètre utilisé avec les systèmes de saisie des données prendront une demi-heure par support.

Le temps consacré à l'analyse sera fonction de la quantité de données collectées et de la méthode d'enregistrement. Mais, à moins que d'énormes volumes de données n'aient été rassemblés, l'analyse et la rédaction du rapport ne devraient pas prendre plus de deux semaines pour un bâtiment de moins de 10 000 m².

3.3.6 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Il faut garder tous les documents préparés dans le cadre de l'analyse de l'ambiance thermique: fiches et cassettes de données, diagrammes des hygrothermographes et autres diagrammes de niveau d'enregistrement, plans d'étages, notes, compte rendus de visites et rapports préliminaires.

4. RÉFÉRENCES

1. American National Standards Institute (ANSI)/American Society of Heating, Refrigeration and Air–Conditioning Engineers (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE 55–1981 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 1981.

2. American Society of Heating, Refrigeration and Air–Conditioning Engineers (ASHRAE). **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 1985.

3. Bruel and Kjaer. **Thermal Comfort Meter Type 1212 Instruction Manual**. Naerum, Denmark, 1982.

4. Deutsches Institut für Normung. **DIN–1946 – Part 2 – Air–Conditioning – Health requirements**. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 1983.

5. Fanger, P.O. **Thermal Comfort**. New York: McGraw–Hill, 1972.

6. Organisation internationale de normalisation. **Norme ISO 7730, Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique**. Organisation internationale de normalisation, 1984.

7. MacIntyre, D.A. **Indoor Climate**. London: Applied Science Publishers Ltd., 1978.

8. Markus, T. et Morris, E.N. **Buildings, Climate and Energy**. London: Pitman, 1980.

9. Travaux publics Canada. **CM–15000 – Normes et directives. Normes sur l'environnement des locaux administratifs – Conception mécanique**. Ottawa: Travaux publics Canada, 1984.

10. _____. **Directives d'exploitation concernant l'économie de l'énergie**. Ottawa: Travaux publics Canada, 1982.

11. _____. **Harry Hays Building, Calgary, Alberta – Stage 1 in the Development of Total Building Performance, Volume 1, Summary Report**. Ottawa: Architectural and Building Sciences Division – Public Works Canada, Novembre 1983. Document interne.

12. _____. **Harry Hays Building, Calgary, Alberta – Stage 1 in the Development of Total Building Performance, Volume 8, Thermal Comfort**. Ottawa: Architectural and Building Sciences Division – Public Works Canada, 1983. Document interne.

13. _____. **Winnipeg Taxation Centre, Winnipeg Alberta, Manitoba – Occupancy Analysis Report**. Ottawa: Architectural and Building Sciences Division – Public Works Canada, Novembre 1984. Document interne.

14. _____. **Thermal Comfort Conditions in the Winnipeg Taxation Centre, Winnipeg, Manitoba**. Ottawa: Architectural and Building Sciences Division – Public Works Canada, Septembre 1984. Document interne.

15. _____. **Évaluation des installations mécaniques (document D33)**. Ottawa: Services d'architecture et de génie – Travaux publics Canada, 1988.

16. _____. **Relevé des données atmosphériques (document D11)**. Ottawa: Services d'architecture et de génie – Travaux publics Canada, 1988.

5. ANNEXES

5.1 TERMES ET UNITÉS STANDARDS DE MESURE

Air de ventilation – air distribué constitué d'air extérieur et d'air recirculé, étant traité afin de maintenir une qualité d'air ambiant acceptable.

Air de retour – air ambiant qu'on reprend dans le local climatisé pour le faire recirculer en totalité ou en partie à travers l'appareil de climatisation (l'air non recirculé, le cas échéant, est évacué du bâtiment).

Air ambiant – air entourant un objet

Air distribué – air introduit dans l'enceinte aux fins de ventilation, de chauffage, de refroidissement, d'humidification ou de déshumidification.

Air extérieur – (Outdoor Air) – air pris directement de l'extérieur et n'ayant, par conséquent, jamais circulé dans le système.

Air extrait – (Exhaust Air) – air d'un local climatisé qu'on évacue à l'extérieur (pas de recirculation).

Air recirculé – air retiré d'une enceinte puis remis en circulation comme air de distribution.

Ambiance thermique – caractéristiques de l'environnement (milieu ambiant) qui influence sur la perte de chaleur d'une personne.

Ambiance thermique acceptable – ambiance où au moins 80% des occupants jugent acceptable (au point de vue thermique).

Asymétrie de la température radiante – différence entre la température radiante des deux faces d'un petit élément plan.

Chaleur métabolique – (Metabolic rate) – énergie produite par le corps d'un organisme vivant. La chaleur métabolique, variant selon l'activité du sujet, est exprimée en "met". Un met équivaut à 58,2 W/m^2, soit l'équivalent de l'énergie produite par unité de surface par une personne assise et au repos. La superficie d'un homme moyen est de 1,8 m^2 environ.

clo – représentation numérique de la résistance thermique d'un ensemble de vêtements, 1 clo = 0,155 m^2. K/W

Conditionnement d'air – (Air Conditioning) – traitement de l'air permettant de maintenir dans certaines conditions ou limites désirées les caractéristiques d'une ambiance: température, humidité, pureté et répartition de l'air.

Confort thermique – état d'esprit dans lequel une personne se déclare satisfaite de l'ambiance thermique (sensation de confort ou de bien–être).

Espace ouvert – toute surface dont les dimensions sont supérieures à l'espacement entre les bouches de diffusion d'air des unités terminales plus 4,5 m, et non fermée par des murs ou des cloisons. Dans ces espaces, les murs n'ont pas un effet significatif sur les courants d'air engendrés par le système de distribution d'air.

Exfiltration – air s'échappant vers l'extérieur par les fissures et les interstices, de même qu'à travers les plafonds, les planchers et les murs d'un local ou d'un bâtiment.

Humidité relative – (HR) – le rapport entre la vapeur d'eau dans l'air intérieur et la vapeur d'eau dans l'air saturé à une même température sèche et une même pression barométrique; en gros, l'humidité relative est le rapport entre la pression partielle ou densité de la vapeur d'eau dans l'air et la pression de saturation ou densité de la vapeur d'eau à la même température humide.

Infiltration – air pénétrant à l'intérieur d'un bâtiment ou d'un local par des fissures et des interstices et par les plafonds, les planchers, et les murs.

Particules – état de la matière caractérisée par des substances solides ou liquides ayant la forme d'aggrégation de molécules ou de fines particules. Particule en suspension dans l'air varie entre 0,01 et 100 micromètres.

Pièce fermée – (Closed Room) – enceinte fermée dont les dimensions ne sont pas supérieures à l'espacement entre les diffuseurs plus 4,5 m. Les murs peuvent avoir un effet important sur les courants d'air créés par le système de diffusion d'air.

Pourcentage prévu d'insatisfaction (PPI) (Predicted Percentage Dissatisfied – PPD) – indice permettant de prévoir le nombre de personnes insatisfaites au point de vue confort thermique. Cet indice permet de prédire le pourcentage de personnes d'un large groupe exposées aux mêmes conditions environnementales qui sont susceptibles de ressentir un inconfort thermique. La majorité d'entre eux voteront pour des valeurs telles que: très chaud (+3), chaud (+2), frais (–2) ou froid (–3). Le PPI dépend du VMP. Pour un PPI donné, le reste du groupe (100% – PPI) ressentira une certaine neutralité thermique se situant entre les indices +1 et –1 (légèrement chaud ou légèrement frais).

Poussière – (Dust) – particule en suspension dans l'air (aérosol) provenant d'un matériau solide, généralement de grosseur inférieure à 100 micromètres.

Sensation thermique – sensation consciente généralement répartie entre les catégories suivantes: froid, frais, légèrement frais, neutre, légèrement chaud, chaud, très chaud.

Température à sphère – (Globe temperature – t_g) – température d'équilibre au centre d'une sphère à paroi mince, ayant une surface non réfléchissante et une émissivité de 0,95 $\pm$0,05.

Température de confort – valeur de la température équivalente requise pour atteindre le confort thermique lorsqu'on connaît le degré d'habillement, le niveau d'activité et le taux d'humidité.

Température de l'air – (t_a) – la température de l'air mesurée en un point particulier dans une enceinte.

Température de rosée – (Dew point temperature – t_{dp}) – température jusqu'à laquelle il faut refroidir de l'air humide (à pression constante) pour qu'il arrive à saturation.

Température effective – c'est la température uniforme mesurée dans une enceinte à paroi noire radiante, l'humidité relative étant de 50%, à laquelle un occupant ressentira le même confort thermique (condition thermo–équivalente), les mêmes contraintes physiologiques et dégagera la même quantité de chaleur que dans son environnement habituel, le déplacement d'air étant le même.

Température équivalente – température de l'air et de toutes les surfaces intérieures d'une enceinte de référence où il n'y a pas de déplacement d'air et où la température a été réglée pour qu'un individu y dégage la même quantité de chaleur par convection et par radiation que dans son environnement habituel.

Température moyenne radiante – (Mean radiant temperature – t_r) – température uniforme de surface d'une enceinte à paroi noire radiante dans laquelle un occupant échangerait la même quantité de chaleur rayonnante que dans l'ambiance réelle non uniforme.

Température opérative – (t_o) – température uniforme d'une enceinte à paroi noire radiante dans laquelle un occupant échangerait la même quantité de chaleur par radiation et convection que dans l'ambiance réelle non uniforme. La température opérative est, du point de vue mathématique, la moyenne, pondérée par les coefficients de transfert de chaleur respectifs (h_c et h_r), de la température de l'air (t_a) et de la température moyenne radiante (t_r).

$$t_o = (h_c t_a + h_r t_r)/(h_c + h_r)$$

Pour des vitesses de 0,4 m/s ou moins et une température moyenne radiante inférieure à 50°C, la température opérative équivaut approximativement à la simple moyenne de la température de l'air et de la température moyenne radiante ou correspond à la température sèche corrigée.

Température opérative optimale – (Optimum Operative Temperature) – température qui satisfait le plus grand nombre possible de personnes vêtues d'une certaine façon et ayant un niveau d'activité donné.

Température radiante d'un élément plan – (Plane Radiant Temperature – t_{pr}) – la température uniforme d'une enceinte dans laquelle le flux radiant incident sur un des côtés d'un petit élément plan correspond à celui de l'environnement existant.

Température au bulbe sec corrigé – (Adjusted dry–bulb température, t_{adb}) – on appelle température au bulbe sec corrigé la moyenne de la température de l'air (t_a) et de la température moyenne radiante (t_r) à un endroit donné. La température au bulbe sec corrigé est presque équivalente à la température opérative (t_o) si les mouvements d'air sont intérieurs à 0,4 m/s et que la température moyenne radiante est inférieure à 50°C.

Température thermodynamique au bulbe humide – (Thermodynamic Wet Bulb Temperature) – ou température de saturation adiabatique – c'est la température à laquelle l'eau, en s'évaporant dans l'air, peut amener l'air à saturation à cette même température. La température au bulbe humide mesurée à l'aide d'un psychromètre s'approchera de la température thermodynamique au bulbe humide.

Valeur moyenne prévue (VMP) (Predicted Mean Vote – PMV) – indice permettant de prédire la valeur moyenne des jugements portés par un important groupe de personnes exposées aux mêmes conditions environnementales. Ils se prononceront sur la qualité de confort thermique d'après une échelle de sensation thermique se composant des 7 points suivants:

+ 3	très chaud
+ 2	chaud
+ 1	légèrement chaud
0	neutre
– 1	légèrement frais
– 2	frais
– 3	froid

Vapeur – substance à l'état gazeux, en particulier un gaz près du point d'équilibre en phase condensée qui ne respecte pas la loi des gaz parfaits; en règle générale, un gaz au–dessous de sa température critique.

Un VMP compris entre –0,5 et +0,5 indique un PPI de 10% ou moins.

Ventilation – dans une enceinte, introduction et évacuation d'air, par des moyens naturels ou mécaniques. Cet air peut être traité ou non.

Ventilation naturelle – déplacement de l'air vers l'extérieur ou l'intérieur d'une enceinte par des ouvertures prévues à cette fin, telles que fenêtres, portes évents, ou par infiltration.

Zone intérieure – zone occupée, parallèle aux murs extérieurs et située à au moins 4,5 m de ceux–ci. Il s'agit d'une zone qui n'est pas influencée directement par les charges thermiques des murs extérieurs d'un bâtiment.

Zone occupée – zone d'un espace normalement occupé, délimitée par le plancher et un plan imaginaire horizontal à 1800 mm de celui–ci et se trouvant à plus de 600 mm des murs ou du matériel fixe de conditionnement d'air.

Zone périphérique – espace parallèle aux murs extérieurs, situé à 4,5 m au plus de ceux–ci, et affecté par les charges thermiques des murs extérieurs du bâtiment.

Les unités de mesure suivantes sont utilisées dans l'évaluation d'une ambiance:

niveau d'activité	chaleur métabolique (1 met=58 W/m²)	met
résistance thermique des vêtements	(1 clo = 0,155 m².K/W)	clo
température du point de rosée (t_{dp})	degrés Celsius	°C
longueur	mètres	m
humidité relative (HR)	pourcentage	%
température (t)	degrés Celsius	°C
différence de température (Δt)	Kelvin	K
temps	horloge de 24 heures	xx:xx
pression de vapeur	Pascals	Pa
vitesse de l'air (v)	mètres par seconde	m/s

5.2 AUTORITÉS COMPÉTENTES ET RÉGLEMENTATION APPLICABLE

Des normes et directives en matière de confort thermique ont été établies dans le monde entier. Le Ministère a pris pour référence la norme ANSI/ASHRAE 55–1981, intitulée "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy" (référence 1). La norme classifie les paramètres influençant les sensations thermiques des occupants, établit des limites d'acceptabilité et décrit les instruments et méthodes à utiliser pour procéder aux essais de conformité. Elle précise également les exigences de confort thermique suivantes pour des activités légères, principalement sédentaires (inférieures ou égales à 1,2 mets) et des degrés d'habillement types (0,5 clo en été, et 0,9 clo en hiver).

Humidité – température de rosée – pas inférieure à 1,7°C ni supérieure à 16,7°C. La plage de limites d'humidité relative correspondant aux limites de température des zones de confort décrites dans la norme est de 20% à 70% approximativement.

Mouvement de l'air – vitesse moyenne de l'air pour toute la période maximale de mesure – ne doit pas dépasser 0,15 m/s en hiver, et 0,25 m/s en été. (En été, la zone de confort peut être élargie de 1°C par augmentation de la vitesse de l'air de 0,275 m/s, jusqu'à concurrence de 0,8 m/s et 28,9°C).

Écart de température dans le plan vertical (gradient vertical) – la différence verticale de températures de l'air entre 0,1 et 1,7 m au–dessus du sol doit être inférieure ou égale à 3 K.

Asymétrie radiante – maximum de 5 K dans le plan vertical et maximum de 10 K dans le plan horizontal.

Température au plancher – supérieure à 18°C mais inférieure à 29°C.

Température opérative – en été, de 22,6°C à 26°C à une température de rosée de 16,7°C et de 23,3°C à 27,2°C à une température de rosée de 17°C; en hiver, de 19,5°C à 23°C à une température de rosée de 16,7°C et de 20,2°C à 24,6°C à une température de rosée de 1,7°C.

Fluctuations de températures – si l'amplitude maximale de variation est supérieure à 1,1 K, alors la vitesse maximale de variation est de 2,2 K/h.

Déviation de la température ou présence de talus – inférieur à 0,6 K/h et, par rapport à la zone de confort, il ne doit pas y avoir un écart de plus de 0,6 K pendant plus d'une heure.

La norme internationale ISO 7730–1984, intitulée "Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices VMP et PPI et spécification des conditions de confort thermique" (référence 6) est utilisée comme base pour le calcul de la VMP. Elle ne présente pas de tableau des exigences de confort, mais indique toutefois, à l'Annexe A, "qu'il est recommandé que le PPI soit inférieur à 10%." La figure 5.2.1 illustre la relation entre la VMP et le PPI.

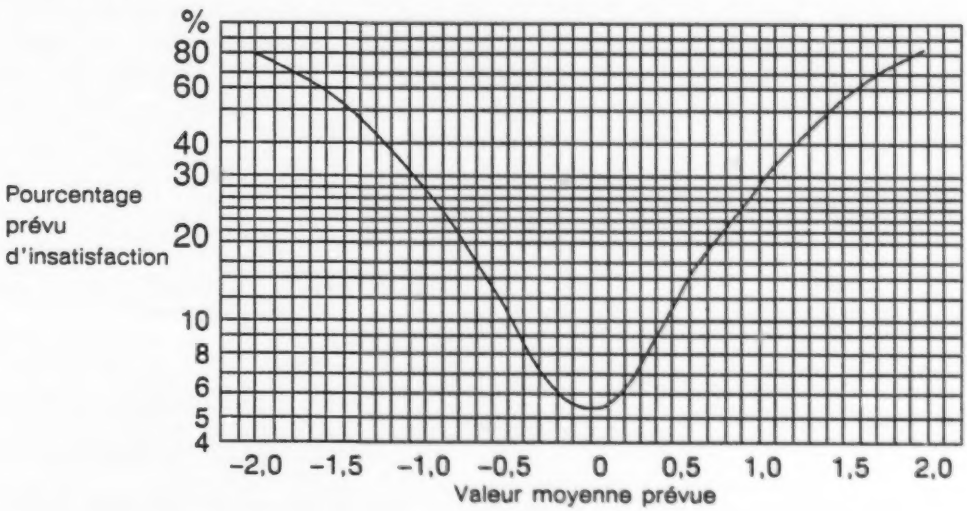

Figure 5.2.1: Pourcentage prévu d'insatisfaction (PPI) en fonction de la valeur moyenne prévue (VMP)

Travaux publics Canada a publié, en 1984, un document MD 15000 (référence 9) établissant des normes et directives en matière de conception des systèmes de CVCA. Le document stipule que les systèmes de CVCA doivent pouvoir maintenir une température minimale de 20°C en période de chauffage et une température maximale de 26°C en période de refroidissement.

À l'heure actuelle, le Ministère utilise la version 1982 des directives d'exploitation concernant l'économie de l'énergie (référence 10) comme guide d'exploitation efficace des systèmes de bâtiments. Il préconise une température maximale de chauffage de 20°C et une température minimale de refroidissement de 26°C.

Température:

La section 5.1.1 de la norme ASHRAE 55–1981 donne plus de détails concernant les exigences en matière de température:

La résistance thermique des vêtements d'intérieur dépend de la saison et des conditions météorologiques. En période estivale, les tenues vestimentaires portées dans les établissements commerciaux consistent généralement en robes légères, pantalons légers, chemises ou blouses à manches courtes, accessoires, et parfois une veste légère. Ces ensembles ont une résistance thermique allant de 0,35 à 0,6 clo. En période hivernale, les vêtements seront plus épais ou plus lourds. Les tenues vestimentaires types consisteront en jupes ou pantalons épais, blouses ou chemises à manches longues, vestes ou chandails épais et accessoires plus chauds tels que chaussettes de laine, chaussures et sous-vêtements. Ces tenues d'intérieur types pour l'hiver ont une résistance thermique comprise entre 0,8 et 1,2 clos. Les vêtements demi-saison seront des jupes ou pantalons d'épaisseur moyenne, des blouses ou chemises à manches longues, etc. ayant une résistance thermique comprise entre 0,6 et 0,8 clo. En raison des habitudes saisonnières des occupants en matière vestimentaire, la plage de température assurant le confort est plus large en été qu'en hiver. Le tableau 5.2.1 donne les plages de températures opératives auxquelles 80% au moins des occupants ayant une activité sédentaire ou semi-sédentaire (moins de 1,2 mets) seront satisfaits de l'ambiance thermique. Le diagramme psychrométrique de la figure 2.1.1 indique la plage acceptable de températures opératives et d'humidité en été et en hiver. Les coordonnées des zones de confort sont les suivantes:

Hiver – température opérative de 19,5°C à 23°C pour une température de rosée de 16,7°C et température opérative de 20,2°C à 24,6°C pour une température de rosée de 1,7°C. Les limites latérales obliques de la zone d'hiver correspondent aux lignes de température effective (Échelle ET* de l'ASHRAE) de 20°C et 23,6°C et sont le lieu de sensations thermiques ou de confort constants.

Été – température opérative de 22,6°C à 26°C pour une température de rosée de 16,7°C et température opérative de 23,3°C à 27,2°C pour une température de rosée de 1,7°C. Les limites latérales obliques de la zone d'été correspondent aux lignes de température effective de 22,8°C et 26,1°C.

Les zones se chevauchent dans la plage 23–24°C, ce qui signifie qu'avec une tenue vestimentaire estivale les gens ressentiraient une légère sensation de fraîcheur alors qu'avec une tenue vestimentaire hivernale, il s'agirait d'une légère sensation de chaleur. En réalité, les limites de chaque zone de confort ne sont pas aussi nettes que sur la figure 2.1.1 et dépendent essentiellement des différences entre individus, tenues vestimentaires et activités déployées. Le tableau 5.2.1 donne également la plage de températures opératives acceptables pour des personnes en tenue vestimentaire minimale et exerçant une activité sédentaire.

D'après ce qui précède, on peut voir qu'un changement de la température de rosée de 1,7°C à 16,7°C (ce qui correspond grosso modo à une augmentation du taux d'humidité relative de 22% à 65% à 24°C) entraîne un changement maximal de la température opérative acceptable de seulement 1,6°C.

Comparativement à l'influence de la température de l'air ambiant et à la température moyenne radiante, l'humidité est un facteur relativement peu important.

Saison	Tenue vestimentaire type	Valeur clo	Température opérative optimale	Plage de température opératives assurant 80% satisfaction thermique[b]
Hiver	pantalon épais, chemise à manches longues et chandail	0,9	21,7°C	20,0–23,6°C
Été	pantalon léger, et chemise à manches courtes	0,5	24,4°C	22,8–26,1°C
	tenue minimale	0,05	27,2°C	26,0–29,0°C

a. Sauf en ce qui concerne les vêtements, il n'y a pas de variations dans les températures du tableau 5.2.1 qui soient liées aux saisons ou au sexe. Dans le cas d'enfants en bas âge, de certaines personnes âgées et de personnes physiquement handicapées, il faudrait éviter les limites inférieures du tableau 5.2.1.
b. Léger mouvement d'air (inférieur ou égal à 0,15 m/s et 50% d'humidité relative).

Tableau 5.2.1: Températures opératives assurant la satisfaction thermique de personnes sédentaires ou légèrement actives ($\leq$ 1,2 mets) avec un taux d'humidité relative de 50%[a]

Humidité:

La section 5.1.2 de la norme ASHRAE définit les conditions d'humidité acceptables comme suit:

L'humidité est décrite en termes de température de rosée. Dans la zone occupée par des personnes sédentaires ou semi–sédentaires, la température de rosée ne doit être ni inférieure à 1,7°C, ni supérieure à 16,7°C. L'effet de l'humidité sur le confort thermique des personnes sédentaires est faible. Les limites supérieure et inférieure du point de rosée sont fondées sur des considérations liées au confort, à la santé des voies respiratoires, à la croissance de moisissure et à d'autres phénomènes connexes reliés à l'humidité. Il est à noter qu'il peut s'avérer nécessaire de limiter l'humidification en hiver pour éviter qu'il ne se forme de la condensation sur les surfaces du bâtiment, notamment les fenêtres. Il n'a pas été prouvé qu'un taux d'humidité relative supérieur à 50% en hiver permette d'améliorer la santé des voies respiratoires.

5.3 LISTE DE DOCUMENTS ÉVALUANT LE RENDEMENT DES IMMEUBLES

Dans cette série, les documents sont subdivisés en quatre classes différentes. Les documents de classe A donnent des explications à savoir comment utiliser les documents des trois autres classes. La classe B est un répertoire d'essais lequel inclut un index et des références. Les documents de classe C donnent un compte rendu des trois domaines d'évaluation et résument les documents de classe D dans leur domaine respectif. Les documents de classe D contiennent une description des attributs du rendement des immeubles et donnent les méthodes pour les évaluer.

	A1	Guide du directeur de projet
	A2	Guide du gérant d'immeuble
	B1	Répertoire d'essais
Relevés	C1	Rendement énergétique et environnemental
	C2	Rendement fonctionnel
	C3	Rendement des systèmes et du matériel
Rendement énergétique et environnemental	D01	Évaluation des polluants
	D02	Migration de la pollution
	D03	Évaluation de l'ambiance thermique
	D04	Évaluation globale: rendement énergétique
	D05	Évaluation des secteurs de consommation: rendement énergétique
	D06	Évaluation des installations et systèmes: rendement énergétique
	D07	Évaluation des améliorations: rendement énergétique
	D08	Évaluation de l'environnement acoustique
	D09	Évaluation de la circulation d'air
	D10	Évaluation de l'éclairage
	D11	Relevé des données atmosphériques
Rendement fonctionnel	D20	Analyse des documents et archives
	D21	Annotation des plans
	D22	Entrevues centrées
	D23	Questionnaires
	D24	Observations
Rendement des systèmes et du matériel	D30	Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition
	D31	Dalles et toîts structuraux: relevé de la condition
	D32	Garages de stationnement: relevé de la condition
	D33	Évaluation des installations mécaniques
	D34	Évaluation des contrôles mécaniques
	D35	Évaluation des systèmes électriques
	D36	Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
	D37	Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur
	D38	Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
	D39	Mesure de la résistance thermique
	D40	Inspections de la teneur en humidité
	D41	Évaluation des systèmes de couvertures